VITTORIO EM. III

Digitized by Google

BIBLIOTECA PROVINCIALE

Armadio

Palchetto

Num.° d' ordine 16

NAZIONALE
B. Prov.
I
2127
NAPOLI

Digitized by Google

B-Gro
II
512
S. Pauv. I-2127

Digitized by Google

Digitized by Google

DESCRIPTION

DU

PONT SUSPENDU

DE

LA ROCHE-BERNARD.

Digitized by Google

PARIS. — IMPRIMERIE DE FAIN ET THUNOT,
rue Racine, n° 28, près de l'Odéon.

Digitized by Google

613229

DESCRIPTION

D'UN

PONT SUSPENDU

DE 198 MÈTRES D'OUVERTURE ET DE 39m,70 DE HAUTEUR
AU-DESSUS DES BASSES MERS,

CONSTRUIT

SUR LA VILAINE, A LA ROCHE-BERNARD,

ROUTE DE NANTES A BREST;

PAR P. LEBLANC,
INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES.

BIBLIOTECA NAZIONALE di NAPOLI

PARIS.
CARILIAN-GŒURY ET Ve DALMONT, ÉDITEURS,
LIBRAIRES DES CORPS ROYAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,
Quai des Augustins, nos 39 et 41.

1841.

Digitized by Google

Digitized by Google

TABLE DES CHAPITRES.

CHAPITRE PREMIER.

Pages.

Importance de la route n° 165. — Description générale des localités. — Inconvénients graves que présentait l'ancien bac. — Moyens qu'il était possible d'employer pour traverser la Vilaine. — Un pont suspendu pouvait seul résoudre le problème. — Démarches faites pour en obtenir un à la Roche-Bernard. 1

CHAPITRE II.

Convenait-il de confier l'exécution du pont de la Roche-Bernard à une compagnie ? — Produits comparés du bac avec celui présumé du pont. — L'administration se détermine à le construire à ses frais. — Présentation d'un projet de loi. — Fixation de la hauteur du tablier. . 10

CHAPITRE III.

Indication et description sommaire de divers projets présentés. — Projet de M. Luczot. — Projets de MM. Bayard de la Vingtrie et de Vergès. — Projet de M. Jules Seguin. — Étude de divers systèmes ordonnée par le Conseil général des ponts et chaussées. — Câbles en fils de fer et chaînes en fer forgé. — Grande et petite portée. — Une seule ou une double voie. — Moyen proposé pour établir une gare au milieu du pont dans la première de ces deux hypothèses. — Proposition pour construire les câbles sur place, en se servant des portiques comme métiers. — Étude de poutres en fer. — Données définitives qui ont fait la base du projet adjugé. . . 19

Digitized by Google

CHAPITRE IV.

Pages.

Description détaillée du pont tel qu'il a été construit. — Grands piliers-supports. — Arcades réunissant les grands piliers aux culées. — Cintres des voûtes. — Culées et murs de soutènement y attenant; conduits aux puits d'amarres; piédestaux. — Trottoirs sur les arcades; garde-corps en fer forgé. — Chaussées sur le sommet des voûtes des arcades et sur les piliers et culées. — Portiques et cylindres mobiles placés à leur sommet; couverture et moyen d'écoulement des eaux pluviales. — Tablier du pont. — Câbles et tiges de suspension; câbles d'amarres; amarres et galeries d'écoulement. 40

CHAPITRE V.

Routes de raccordement aux abords du pont. 74

CHAPITRE VI.

Passerelle provisoire. — Moyen employé pour diminuer ses oscillations. 77

CHAPITRE VII.

Machines employées à la construction. — Fabrication et pose des câbles de suspension et d'amarre. — Diverses dispositions qu'on peut adopter pour les câbles de suspension. 80

CHAPITRE VIII.

Expériences sur la résistance des fils. 93

CHAPITRE IX.

Calculs d'établissement du pont. 116

CHAPITRE X.

Des limites d'ouverture des ponts suspendus. — Pont de Saint-Malo. — Emploi des câbles en fil de fer pour le transport des matériaux. 131

CHAPITRE XI.

Détails des prix de diverses mains-d'œuvre. — Composition de plusieurs mastics et enduits. — Manière de reconnaître la qualité des pièces de fonte. 150

CHAPITRE XII.

Épreuve et inauguration du pont. 165

Digitized by Google

CHAPITRE XIII.

Pages.

Réflexions sur le système actuel d'adjudication des grands travaux et sur les moyens d'y employer l'armée. 170

CHAPITRE XIV.

Indication de quelques conditions à introduire dans les devis. — Conclusion. 182

Digitized by Google

Digitized by Google

PRÉFACE.

L'époque actuelle est si féconde en créations hardies, l'intérêt général représenté par l'État et l'intérêt particulier représenté par les compagnies, rivaux sans être ennemis, couvrent à l'envi le sol de notre France de tant d'immenses travaux, que je n'aurais pas cédé au désir de publier l'histoire de la construction du pont de la Roche-Bernard, qui en définitive n'est qu'un grand monument de plus au milieu de tant d'autres, si je n'avais eu pour but que d'apprendre à quelques ingénieurs ou artistes, qu'il existe au fond de la Bretagne, dans une contrée peu visitée, un monument gigantesque, dont les piliers téméraires, qui pressent le sol avec un poids de plus de 13 millions de kilogrammes, s'élèvent minces et isolés, à une hauteur qui, à une vingtaine de pieds près, atteint celle des tours de Notre-Dame, et au sommet desquels se balance, harcelé par les tempêtes si fréquentes sur les côtes de l'Océan, un pont suspendu d'environ 200 mètres de portée, et d'un poids qui, sous le minimum de la charge, est d'environ 300,000 kilogrammes.

Digitized by Google

Une pensée plus sérieuse m'a fait prendre la plume (1). J'ai toujours cru que c'était un devoir pour tout ingénieur ou constructeur (2) chargé d'exécuter un travail important, de faire connaître à tous ses confrères les difficultés qu'il a rencontrées, les moyens dont il s'est servi pour les vaincre, les vices que l'expérience a pu lui faire remarquer dans les procédés employés avant lui, les perfectionnements enfin qu'il a pu avoir le bonheur d'y apporter. Chaque grande construction doit faire faire un pas à l'art; mais pour cela il faut que son histoire en soit écrite avec fidélité.

(1) J'en ai d'ailleurs reçu l'ordre de M. le sous-secrétaire d'état des travaux publics.

(2) J'emploie ici à dessein les deux expressions d'ingénieur et de constructeur parce que, selon moi, elles représentent deux idées tout à fait distinctes.

Je ne donne le titre d'ingénieur qu'aux membres des corps au service de l'État, et auxquels l'État le confère, et non à toute personne s'occupant de travaux analogues à ceux que les ingénieurs du gouvernement exécutent, ou qui possèdent les mêmes connaissances qu'eux; de même qu'on n'appelle pas avocats ou médecins, les hommes plus ou moins savants dans la science de guérir ou dans celle des lois, qui n'ont pas reçu le diplôme qui leur donne le droit de porter ledit titre.

Ces deux titres d'ingénieur et de constructeur sont en effet tellement distincts, qu'on peut cesser d'être constructeur sans cesser d'être ingénieur. Niera-t-on, par exemple, que les inspecteurs généraux des ponts et chaussées et des mines qui ne construisent plus, ne soient encore des ingénieurs?

Celui d'ingénieur civil, que plusieurs constructeurs ont pris depuis quelques années, me paraît d'ailleurs extrêmement mal choisi; il a surtout, si je ne me trompe, deux grands défauts; il est vague et ambitieux. Il est vague, car toute personne s'occupant d'autres travaux que de ceux de la défense des places pourrait le revendiquer.

Un ingénieur des ponts et chaussées est un ingénieur civil.

Un ingénieur des mines est un ingénieur civil.

Un architecte est un ingénieur civil.

Un opticien est un ingénieur civil.

Un fondeur de métaux est un ingénieur civil.

Un constructeur de machines est un ingénieur civil.

Un foreur de puits artésiens est un ingénieur civil.

Pourquoi un habile charpentier, un bon plâtrier, un menuisier, un serrurier, et tant d'autres dont les travaux demandent de l'invention et quelquefois du génie, ne se feraient-ils pas appeler ingénieurs civils?

Un titre que tout le monde peut prendre, qui ne représente aucune profession spéciale, mais toutes les professions, aucune classe particulière de constructeurs, mais toutes les classes

Digitized by Google

Il est surtout dans cette histoire un chapitre plus fécond en enseignements que tous les autres, ainsi que l'a si judicieusement remarqué M. Vicat, c'est celui des fautes commises.

Mais ce chapitre est si difficile à écrire que j'ai renoncé à le rendre complet, dans cette notice. Il existe des hommes qui trouvent convenable et juste que 30,000 feuilles s'impriment chaque jour en France, pour annoncer que le roi et ses ministres se trompent sur tout et toujours, qui s'indignent de la susceptibilité inconstitutionnelle de ces derniers quand ils se plaignent de ce qu'on les accuse de trahison et d'ineptie, et qui pourtant s'offensent eux-mêmes quand on leur dit qu'ils pour-

de constructeurs, ne peut donc que substituer la confusion à la clarté, et est, par conséquent, vague et mal choisi.

Cela me rappelle un professeur qui, mécontent de la classification compliquée adoptée de son temps pour les métaux, proposait celle-ci comme plus simple :

« Je partage, disait-il, tous les métaux en deux classes, ceux qui sentent l'ail et ceux qui « ne le sentent pas : dans la première classe je range l'arsenic, et dans la seconde tous les autres « métaux. »

Ne pourrait-on pas dire que MM. les ingénieurs civils, exagérant la simplicité de ce système de classification, proposent de ranger toutes les professions quelconques qui ne sont pas purement mécaniques en une seule classe, qu'on appellerait celle des ingénieurs civils?

Je remarquerai d'ailleurs en passant qu'il est assez bizarre que ce soit dans un siècle aussi démocratique que le nôtre que chacun, mécontent du titre modeste qu'il portait autrefois, veuille en prendre un plus sonore : les procureurs sont devenus des avoués, les apothicaires des pharmaciens, les escamoteurs des physiciens, les portiers sont des concierges, les danseurs de l'Opéra sont membres d'une académie royale !

Le titre d'ingénieur civil est ambitieux, car, dans l'opinion de ceux qui se le décernent, il désigne une certaine distinction et un degré d'habileté supérieur à celle des constructeurs ordinaires, n'osant pas dire qu'on a du génie on s'appelle ingénieur, sans se rappeler que les premiers ingénieurs n'étaient pas des hommes de génie, mais des hommes d'engins.

Laissons donc à chacun son nom pour que chacun puisse se reconnaître : appelons avocats ceux qui ont été reçus avocats, médecins ceux qui ont été reçus médecins, ingénieurs ceux qui ont été reçus ingénieurs, et engageons MM. les ingénieurs civils à se contenter du titre honorable de constructeurs de machines, d'instruments d'astronomie, de ponts, de chemins de fer, de canaux ; cela ne nous empêchera pas, nous, ingénieurs du gouvernement, d'aller puiser des enseignements dans les travaux de quelques-uns d'entre eux et d'honorer leurs talents, dont ils doivent être bien plus fiers que d'un vain titre, que nous ne réclamons que parce qu'il nous a été donné depuis plus d'un siècle, et que nous ne voulons pas le changer pour un autre.

Digitized by Google

raient bien avoir erré sur la question la plus insignifiante. Quoique plusieurs fautes aient été commises par plusieurs personnes dans l'affaire du pont de la Roche-Bernard, je me tairai donc sur celles qui me sont étrangères et je ne parlerai que des miennes.

Mais, quoique reculant ainsi devant la partie la plus épineuse de ma tâche, celle qui me reste à accomplir n'est pas exempte, il s'en faut, de difficultés et d'inconvénients; en effet, celui qui fait sa confession, dans un cas semblable, doit la faire sans réticence; il ne doit pas se borner à avouer seulement quelques légères erreurs qu'il a su réparer et qui lui ont fourni même l'occasion de développer les ressources de son imagination; les livres sont pleins de confessions pareilles, ombres que le peintre a parn propres à faire ressortir la partie brillante de son tableau, modestie mensongère qu'on estime généralement à sa véritable valeur; il faut qu'il se résigne à de grands sacrifices d'amour-propre, car il peut s'attendre qu'en racontant ses fautes, il trouvera peu d'indulgence chez les personnes qui auront oublié les difficultés dont elles se sont mal tirées, et une sévérité excessive chez celles qui, n'ayant jamais eu à lutter contre des difficultés sérieuses, ne conçoivent pas comment on ne les surmonte point toutes en se jouant.

Comment, disent ordinairement ces dernières, n'a-t-on pas pensé sur-le-champ au procédé si simple auquel on est arrivé si tard?

Je répondrai que ce sont précisément les procédés les plus simples qu'on découvre les derniers, et que ce n'est qu'à l'aide de beaucoup de réflexions et de raisonnements qu'on y parvient.

La démonstration de cette proposition, qui au premier coup d'œil peut sembler un paradoxe, me paraît assez facile à donner.

Quand un obstacle imprévu surgit tout à coup, l'esprit étonné de sa grandeur, qui lui apparaît au milieu des ténèbres de l'inexpérience, le juge d'abord beaucoup plus formidable qu'il ne l'est réellement, et il ne croit pas pouvoir accumuler jamais assez de puissance pour le vaincre; mais quand il l'a considéré plus longtemps, quand il l'a mesuré avec plus d'exactitude, il élague peu à peu tout ce que ses pre-

Digitized by Google

mières conceptions renfermaient de surabondant, il supprime les moyens qui, semblables aux forces employées sous de mauvaises directions, perdent leur plus énergique composante ou même s'entre-détruisent tout à fait, et c'est alors seulement qu'il arrive au procédé facile et simple auquel, quand il est trouvé, chacun prétend qu'il aurait pensé lui-même, s'il avait été à la place de son auteur.

Les travaux du pont de la Roche-Bernard m'ont donné une nouvelle occasion d'étudier deux questions encore bien controversées, je veux parler de la coopération de l'armée aux travaux publics (1) et

(1) Je profite de cette circonstance pour adresser publiquement mes remerciements aux militaires des 7e et 20e régiments de ligne, dont des détachements ont été employés aux travaux du pont de la Roche-Bernard. Leur bonne conduite, leur exactitude et leur discipline ont été d'un exemple salutaire pour les ouvriers civils, et ont puissamment contribué au rapide achèvement du pont. Je ne puis m'empêcher de citer à cette occasion un trait d'humanité qui les honore.

Un mineur, père de trois enfants en bas âge, eut les deux yeux crevés et le poignet gauche fracassé par l'éclat d'une mine dans les galeries souterraines. Pour ajouter quelque chose au secours insuffisant que put lui accorder l'administration, j'eus l'idée d'ouvrir une souscription en sa faveur; à peine les militaires du 7e et du 20e eurent-ils appris cette nouvelle, qu'ils s'empressèrent de me faire offrir une demi-journée de solde, prouvant ainsi que des soldats français ne peuvent rester étrangers à tout ce qui se fait d'honorable autour d'eux. Je puis affirmer que cette belle action a imprimé dans le pays un vif sentiment de respect et d'amour pour l'armée.

Je prie également ici les deux colonels de ces deux régiments de recevoir les expressions de ma vive reconnaissance: c'est leur noble influence sur l'esprit de leurs inférieurs qui a produit les beaux résultats que j'ai cités tout à l'heure. Voici un des ordres du jour du colonel du 7e, commandant alors par intérim le département du Morbihan.

« J'espère que les détachements des 7e et 20e de ligne qui viennent d'être dirigés, par ordre « de M. le ministre de la guerre, sur la Roche-Bernard, pour être mis à la disposition de « M. l'ingénieur en chef chargé des travaux du pont en construction dans cette ville, se feront « remarquer pendant toute leur durée par une conduite aussi laborieuse que régulière.

« Le pont de la Roche-Bernard, par sa beauté, sa hardiesse et surtout son utilité, étant « appelé à prendre rang parmi les monuments les plus remarquables de France, et même de « l'Europe, les 7e et 20e de ligne, en prenant une part active à cette importante construction, « mériteront la reconnaissance de la population de ces contrées, ainsi que du commerce « et de l'industrie, pour laquelle toute communication nouvelle et facile est toujours un « bienfait. »

C'est en excitant souvent ainsi l'amour-propre de ses soldats que M. le colonel Dutocq a su les rendre zélés et laborieux.

Digitized by Google

du système des entreprises générales dans lesquelles un seul entrepreneur est chargé de l'exécution de toutes les parties d'un grand travail sans exception, mains-d'œuvre et fournitures comprises, comparé avec celui des adjudications morcelées portant sur les fournitures seulement, la plupart des mains-d'œuvre étant exécutées en régie par les ingénieurs.

J'ai réservé un chapitre spécial de cette notice à l'examen de ces deux questions; j'y ai développé mes idées, peut-être vaudrait-il mieux dire mes rêves sur la première, car je ne suis pas assez haut placé pour bien apprécier les conséquences des réformes que je propose et m'assurer si elles sont compatibles avec une organisation forte de l'armée, organisation qui doit satisfaire avant tout aux grands intérêts de la défense du royaume à l'extérieur, et du maintien de l'ordre à l'intérieur; je ne suis pas de ces hommes qui croient que parce qu'ils peuvent tenir une plume et barbouiller du papier, ils sont devenus aptes à trancher toutes les questions, même les plus étrangères à leurs études ordinaires; la liberté de la presse accorde sans doute aux citoyens les plus obscurs le droit de proposer des réformes, mais le sens commun, qui est au-dessus de toutes les lois, nous apprend qu'aux supériorités sociales, et surtout spéciales seules, doit être réservé celui de les juger, et, en conséquence, de les rejeter ou de les admettre.

Mais je m'aperçois qu'au sujet d'une question d'art, j'allais traiter une question politique; je m'arrête donc, car je ne serais pas étonné qu'à l'époque d'opinions bizarres où nous vivons, on trouvât mauvais qu'un ingénieur, qu'un membre d'un corps dont tous les efforts, dont toutes les veilles sont consacrées à des travaux qui tendent à accroître la richesse et la prospérité du pays, ose se permettre de réfléchir sur les causes qui peuvent les compromettre, et qu'il ne cède pas entièrement ce privilége aux hommes dont le métier est de parler, et qui souvent sont incapables de faire autre chose pour elles.

Digitized by Google

Les personnes qui liront cette notice trouveront probablement que je suis entré dans de trop longs détails sur mes études préliminaires, puisque ces détails ne se rapportent qu'à un travail particulier et sont étrangers à l'art des constructions en général; mais je l'ai déjà dit, c'est pour mes confrères et surtout pour mes jeunes confrères que j'écris, et il peut leur être utile de connaître la marche que j'ai suivie dans mes études, pour les guider dans celles qu'ils sont appelés à faire eux-mêmes. Quand on est chargé d'un grand projet, on ne peut s'empêcher de le considérer sous toutes ses faces, on aime à mesurer son degré d'utilité, les changements qu'il doit apporter, le bien qu'il doit produire dans les contrées où il doit s'exécuter; on perd nécessairement un peu de temps à ces études, parce que quelquefois on ne suit pas le mode le plus convenable pour les abréger. Si la description de celui que j'ai adopté, peut éviter à un seul jeune ingénieur qui se trouvera dans une position semblable à la mienne, un travail de quelques jours, je ne regretterai pas les quelques minutes que j'aurai fait perdre à mes lecteurs en ne supprimant pas cinq ou six pages de cette notice; mais pour ne pas leur en faire perdre davantage, je terminerai ici sur-le-champ ma préface.

Digitized by Google

Digitized by Google

DESCRIPTION

DU

PONT SUSPENDU

DE

LA ROCHE-BERNARD.

CHAPITRE PREMIER.

Importance de la route n° 165. — Description générale des localités. — Inconvénients graves que présentait l'ancien bac. — Moyens qu'il était possible d'employer pour traverser le Vilaine. — Un pont suspendu pouvait seul résoudre le problème. — Démarches faites pour en obtenir un à la Roche-Bernard.

La route n° 165, classée sous le titre de Nantes à Audierne, traverse la Vilaine à la Roche-Bernard, petite ville située sur sa rive gauche, à trois lieues de son embouchure dans l'Océan; quoique assez importante sous le point de vue commercial, puisqu'elle unit tout le littoral sud de la Bretagne avec le centre de la France, cependant il s'en faut que son chiffre de fréquentation atteigne celui de la plupart des grandes routes qui partent de Paris en rayonnant vers les frontières; la configuration même des côtes de la Bretagne sera d'ailleurs une cause constante qui empêchera cette fréquentation de s'accroître d'une manière notable; en effet, ces côtes présentent une foule de déchirures qui forment à chaque pas des baies, des anses, des golfes, où les navires trouvent des abris commodes, et où l'on a pu établir une grande quantité de petits ports; on y rencontre

Digitized by Google

un assez grand nombre de rivières, peu considérables à la vérité, par la longueur de leur cours, mais qui offrent à la navigation des voies de communication faciles, par leur largeur, leur profondeur et surtout par les courants rapides et en sens contraire que chaque jour le flux et reflux impriment à leurs eaux; la Bretagne est donc la partie de la France la plus essentiellement maritime (1), et tant que la mer sera libre, le commerce du pays préférera cette voie à celle de terre, non-seulement par habitude, mais encore parce qu'elle est plus commode et plus économique, quoique cependant plus dangereuse.

En temps de guerre, la voie de terre acquerrait une bien plus grande importance, il est vrai; mais depuis quelques années, les nations semblent plus désireuses de conquérir des richesses que des territoires, et l'on a droit d'espérer que l'état de guerre ne sera plus qu'un accident exceptionnel et rare; cependant, dans cette dernière hypothèse, qu'il est sage de prévoir, il ne faut pas oublier que, sous le point de vue militaire, la route n° 165 doit exciter à un haut degré l'attention du gouvernement, puisqu'elle deviendrait alors la communication directe et presque unique des deux grands ports militaires de Brest et de Lorient avec Nantes, Bordeaux, et tout le centre et le midi de la France.

Cette considération et celle d'introduire dans un pays encore arriéré, mais qui renferme tant de germes de prospérité, les progrès de la civilisation et de l'industrie, ont déterminé le gouvernement à faire de très-grands sacrifices pour l'amélioration de ses routes; partout des chaussées douces et commodes remplacent leurs vieux empierrements raboteux, leurs parties tortueuses se redressent, leurs pentes rapides s'abaissent, et si la main ferme et savante qui dirige aujourd'hui l'administration des ponts et chaussées n'en abandonne pas les rênes d'ici à quelques années, les améliorations commencées prendront un essor plus rapide encore, et bientôt les routes de Bretagne ne le céderont pas aux plus belles du royaume.

A la Roche-Bernard, la Vilaine offrait un véritable obstacle au passage; son cours s'y trouve encaissé entre deux lignes de collines assez élevées, et l'on n'arrivait au bac que par des pentes moyennes de neuf à dix centimètres qui atteignaient jusqu'à dix-neuf sur une de leurs parties; les

(1) Trois des cinq grands ports militaires que nous possédons se trouvent sur les côtes ou à la limite des côtes de la Bretagne.

Digitized by Google

pentes excessives n'étaient pas les seules difficultés à vaincre ; la Vilaine, dans l'endroit où on la traversait, a une largeur de 350 mètres pendant les grandes marées d'équinoxe, qui s'y élèvent de 6m,70 quand elles sont favorisées par les vents violents du sud-ouest qui règnent sur toutes les côtes de l'Océan, et qui, en se resserrant entre les montagnes, deviennent plus violents encore ; de sorte que ses eaux y sont quelquefois dans un tel état d'agitation, qu'elles présentent l'apparence d'une petite mer qu'il est dangereux de passer autrement qu'avec des bateaux carénés ; quand le vent et le courant agissaient dans le même sens, les bacs se trouvaient quelquefois emportés à une demi-lieue du passage (1).

Un tel état de choses était intolérable, et depuis longtemps on cherchait à y remédier.

Mais les moyens n'étaient pas faciles à trouver ; la partie la plus étroite de la Vilaine, placée au rocher dit de la Bousée (*voy.* pl. I), présente une largeur de 160 mètres en basse mer, et dans cet endroit la profondeur des eaux varie entre 4 et 9 mètres ; en outre, les sondes que j'ai fait faire dans son lit m'ont appris qu'on y rencontre une épaisseur de vase molle d'au moins 10 mètres de hauteur (je n'ai pas poussé mes sondes plus loin). Or, en supposant que j'eusse trouvé le solide immédiatement après, un pilier intermédiaire eût donc été fondé pendant les hautes marées à plus de 17 mètres en contre-bas de la surface de l'eau ; enfin, le port de Redon, situé à six lieues en amont de la Roche-Bernard, pouvant recevoir des navires d'un tonnage de plus de trois cents tonneaux, le pont devait nécessairement avoir au moins 30 mètres d'élévation au-dessus des plus hautes marées.

D'après toutes ces données, il est facile de conclure que toute espèce de pont qui aurait eu besoin d'un ou de plusieurs points d'appui dans le lit de la rivière, était réellement impossible à la Roche-Bernard.

Un pont de bateaux était également bien difficile à établir, vu la rapidité des courants, la violence des vents, l'abaissement et le gonflement journalier des eaux et l'impossibilité de l'amarrer à son milieu ; sa manœuvre

(1) En octobre 1837, j'ai vu une diligence s'embarquer dans le bac à minuit, elle n'est arrivée sur l'autre bord qu'à six heures du matin ; j'ai vu vingt fois le passage interrompu tout à fait pendant cinq à six heures ; enfin pendant l'hiver de 1837 à 1838, il l'a été pendant trois jours à cause des glaces flottantes que le flux et le reflux poussaient sans cesse en sens contraire

Digitized by Google

eût été en tout temps lente, incommode, très-souvent dangereuse, et cependant, vu la grande quantité de bâtiments qui montent et descendent la Vilaine, elle eût dû être presque continuelle.

La seule ressource qui restait à employer pour rendre le passage un peu moins incommode, était celle d'un bateau à vapeur ou à manége, semblable à celui que remplace le pont de Cubzac; mais les vents eussent eu encore plus de prise sur de pareils bateaux que sur les bacs qui s'élèvent peu au-dessus de la surface de l'eau. L'inconvénient assez rare, il est vrai, des glaçons flottants, n'eût pas cessé d'exister, et pour arriver à un résultat aussi médiocre, il fallait développer longuement et en se livrant à de grandes dépenses, sur les rochers voisins, deux routes nouvelles destinées à racheter des hauteurs de plus de 60 mètres.

Le passage de la Roche Bernard était donc condamné à rester longtemps dans l'état où il se trouvait, sans l'introduction en France du nouveau système de ponts suspendus, qui devait y trouver sa plus belle et sa plus heureuse application; aussi y fut-elle réclamée sur-le-champ avec instance.

Dans le rapport de M. le préfet du Morbihan (1) au conseil général de ce département, dans sa session de 1821, on lit ce qui suit :

« Je crois devoir vous faire connaître qu'un voyageur anglais, qui a traversé le département en juillet dernier, m'a entretenu du projet de » construction d'un pont à la Roche-Bernard, qu'il se chargerait d'entreprendre; les avantages que ce pont offrirait au gouvernement en temps » de guerre, pour l'approvisionnement des ports de Lorient et de Brest, » et dans tous les cas au commerce, m'ont porté à encourager le voyageur anglais, et je verrais avec plaisir que vous voulussiez bien exprimer » le vœu qu'un pont fût construit à la Roche-Bernard. »

Dans la session du conseil général, en 1823, le même préfet lui disait encore :

« Les expériences faites dans un pays voisin ont prouvé qu'il est possible de construire, sans points d'appuis intermédiaires, des ponts sur » les fleuves d'une largeur considérable; et ce procédé, étudié par un » ingénieur français envoyé sur les lieux, trouvera son application dans » beaucoup de localités, et notamment au passage de la Roche-Bernard » sur la Vilaine, en ce département.

(1) M. le comte de Chazelles.

Digitized by Google

« Le bienveillant intérêt dont M. le directeur des ponts et chaussées « honore le Morbihan, me fait espérer la réalisation d'un projet aussi utile, « non-seulement à notre territoire, mais encore à tout le Finistère, pour « ses communications avec le midi de la France.

« Je me flatte que ces avantages seront vivement sentis par le gouverne- « ment, et que nous obtiendrons un pont en chaînes de fer sur la Vilaine; « c'est pour cet effet que je vous prie, Messieurs, de joindre vos sollicita- « tions aux miennes auprès de M. le directeur général. »

Ces rapports et surtout leurs dates prouvent suffisamment le vif besoin qu'on éprouvait d'obtenir un passage sûr et commode à la Roche-Bernard. Dès l'année suivante M. Lucot, alors ingénieur en chef du Morbihan, rédigeait un projet de pont suspendu de deux cent trente-quatre mètres d'ouverture, en chaînes de fer, qui fut présenté à l'approbation du conseil général des ponts et chaussées ; à cette occasion, M. le préfet du Morbihan adressait les paroles suivantes au conseil général dans sa session de 1825 :

« Le projet du pont suspendu sur la Vilaine, à la Roche-Bernard, dont « j'ai eu l'honneur de vous parler dans vos deux précédentes sessions, a été « examiné à la direction générale des ponts et chaussées, et renvoyé ici « pour quelques modifications qui feraient obtenir, d'après les indications « du conseil, une économie de deux cent mille francs environ, ce qui ré- « duirait la dépense d'un dixième.

« M. l'ingénieur en chef s'est occupé sur-le-champ des rectifications or- « données; et profitant de mon séjour dans la capitale, au mois de juin, il y « est arrivé pour que nous pussions présenter ensemble son nouveau tra- « vail, et obtenir la sanction nécessaire à sa mise à exécution. Je n'ai pu « rester assez longtemps à Paris pour voir terminer cette affaire; mais je « suis fondé à vous dire, Messieurs, que le principe étant adopté, tout nous « donne l'espoir que bientôt se réalisera le grand projet d'unir sans aucun « point intermédiaire, deux montagnes à cent pieds au-dessus du niveau « des eaux, et d'éviter un passage toujours très-difficile, souvent même « dangereux, et qui intercepte en partie les relations commerciales du Mor- « bihan et du Finistère avec les départements du Midi. Cette entreprise, « unique dans la France, et qui n'a rien de comparable dans ce genre par la « hardiesse de ses dimensions, ne doit pas être envisagée seulement sous le « rapport d'utilité locale; considéré comme monument, le pont de la « Roche-Bernard sera digne de la plus grande attention, et suffirait seul « pour illustrer un règne, et il ne pouvait manquer d'être favorablement

Digitized by Google

» accueilli par des ministres qui saisissent avec empressement tout ce qui » peut contribuer à la gloire du monarque. »

Le projet rectifié de M. Lucot fut en effet examiné de nouveau par le conseil général des ponts et chaussées; mais ce projet, quelque remarquable qu'il fût par le talent avec lequel il avait été rédigé, se ressentait un peu de l'inexpérience de l'époque dans cette espèce de construction; les moyens de résistance y avaient été prodigués, aussi la dépense totale dépassait-elle deux millions. Cette somme parut considérable, soit aux compagnies exécutantes, soit au gouvernement lui-même; on était d'ailleurs, à ce qu'il paraît, un peu effrayé de la grandeur de l'entreprise, et ce projet n'eut aucune suite.

L'affaire du pont de la Roche-Bernard resta dans cet état jusqu'en 1833 (1), et était menacée d'y rester encore longtemps; le nouveau préfet du Morbihan, M. Lorois, homme habile cependant et plein de zèle pour l'exécution des grands travaux dans son département, ne croyait pas même possible la construction du pont de la Roche-Bernard (2), lorsque M. Vigier, député du Morbihan, résolut de la ranimer.

Il commença par déterminer M. le préfet du département à renouveler la demande de construction d'un pont à la Roche-Bernard, et ce magistrat le fit avec une ardeur et une persévérance dignes des plus grands éloges; il écrivit ensuite au Roi, sous la date du 5 juillet 1833, une lettre que je ne puis m'empêcher de transcrire ici tout entière :

» Lorsque les Chambres se sont associées aux vues élevées qui ont inspiré » à Votre Majesté le projet d'achèvement des grands travaux publics com- » mencés dans toute la France, et qu'elles en ont assuré la réalisation par » le vote des crédits nécessaires, je me suis plus que jamais estimé heureux » de ce que le choix de mes concitoyens m'avait appelé à concourir person- » nellement à la confection d'une loi qui doit contribuer si puissamment » à l'éclat du règne de Votre Majesté et à la prospérité de la France.

» Je crois remplir un des devoirs que m'impose ma qualité de député en » prenant la liberté, Sire, d'appeler votre attention sur un objet qui se rat- » tache à cette loi et qui, s'il intéresse spécialement le département que j'ai » l'honneur de représenter, ne rentre pas moins dans le système général

(1) En 1829 cependant, un sieur Dubouchet de Nantes proposa de construire le pont, mais cette proposition avorta presque aussitôt.

(2) Ces détails m'ont été fournis par MM. Vigier, député du Morbihan, et James Gordon, homme distingué, à qui aucune question d'art et de science n'est étrangère.

Digitized by Google

» d'amélioration dont la sollicitude éclairée de Votre Majesté veut faire » jouir l'universalité du royaume.

» Deux routes principales conduisent du cœur de la France dans la Bretagne : l'une par le nord de la province, l'autre par le sud. Je n'ai point à » m'occuper de la première; je ne veux parler à Votre Majesté que de la » seconde qui est peut-être la plus intéressante des deux, puisque c'est celle » qui se prête le mieux aux mouvements militaires et aux transactions commerciales. Cette route, désignée sous le nom de route royale de Bordeaux » à Brest, s'embranche à Nantes avec celle de Paris, et devient ainsi le » moyen principal de communication entre toutes les parties du littoral de » l'Océan, depuis l'extrémité du Finistère jusqu'à l'embouchure de la » Gironde. Sur cette ligne se trouvent deux grands centres d'activité commerciale, Bordeaux et Nantes; trois des grands arsenaux de l'État, Brest, » Lorient et Rochefort; la communication avec Paris par Nantes, quoique » plus longue de quelques lieues que par Rennes, est cependant généralement préférée par les voyageurs et même par le roulage, parce que le » bassin de la Loire offre une route unie bien plus commode que les contrées montueuses de la haute Normandie et de la Bretagne; et que d'ailleurs, on traverse un pays riche où se multiplient les opérations et les » bénéfices du commerce. Cette route a participé à l'amélioration de » toutes celles de France; et sur toute son étendue, sauf un point, elle » peut rivaliser avec celles du royaume qui passent pour les meilleures et » les mieux entretenues.

» Le point que je signale à Votre Majesté est le passage de la Roche-Bernard. La Vilaine, profondément encaissée entre des bords de granit, y » coupe la route, et on ne traverse cette rivière que sur un mauvais bac, » ce qui rend le passage difficile et long dans tous les temps, et dangereux » même à certaines époques. Je n'insisterai pas à cet égard; car il est à ma » connaissance que Votre Majesté se souvient parfaitement des inconvénients de ce passage, et je puis lui affirmer qu'il est aujourd'hui absolument le même qu'à l'époque où elle a passé.

» Ces inconvénients avaient tellement frappé l'administration, qu'on » avait un moment songé à donner une autre direction à la route royale, à la » faire passer par Redon, et revenir de là à Vannes par Questembert; » mais ce projet, indépendamment de certaines difficultés d'exécution, résultant de la configuration du sol, avait le tort d'allonger beaucoup la » route, et de déshériter la portion sud-ouest du département de toute es-

Digitized by Google

» pèce de communication; c'est d'ailleurs par Rédon que passe le grand » canal de Nantes à Brest; il y aurait donc eu injustice à réunir exclusive- » ment sur un même point les deux voies, et on a sagement fait de renon- » cer à ce plan, et de se résigner au passage de la Roche-Bernard, quelque » graves qu'en fussent d'ailleurs les inconvénients.

» Les progrès des arts permettent aujourd'hui de les faire disparaître, » sans cependant nuire à la navigation de la Vilaine, par la création d'un » pont suspendu, auquel on donnerait l'élévation suffisante pour que les bâ- » timents de commerce qui remontent la Vilaine pussent librement passer » dessous toutes voiles déployées. Ce pont réunirait cette partie de la Bre- » tagne au reste du royaume, d'une manière plus complète et plus intime; » il faciliterait les mouvements militaires, et donnerait la certitude que la » guerre civile ne pourrait jamais s'allumer sans être immédiatement ré- » primée. Enfin, si comme tout porte à le croire, un chemin de fer s'établit » de Nantes à Paris, ce pont contribuerait à l'activité des relations de la » Bretagne avec la capitale, puisqu'il assurerait la possibilité d'arriver à » heure fixe à Nantes, ce qui est impossible dans l'état actuel des choses.

» Je ne doute pas, Sire, qu'un projet si grand et si utile tout à la fois, » ne plaise à Votre Majesté; en vous le soumettant, je suis sûr d'être » l'organe des populations du Morbihan et de la Loire-Inférieure. J'en ai » plusieurs fois conféré avec mes collègues de ces départements ainsi » qu'avec ceux du Finistère et des Côtes-du-Nord : ils ont été unanimes » sur les avantages que son exécution procurerait à notre province.

» Il se présente pour les réaliser une occasion difficile à retrouver, c'est » le vote de quinze millions attribués spécialement aux lacunes des routes » royales.

» Le passage de la Roche-Bernard peut et doit être considéré comme » lacune, et à ce titre, si Votre Majesté daignait ordonner au ministre des » travaux publics de prendre, sur le crédit de quinze millions, une allo- » cation suffisante pour la construction du pont, nos départements de » l'Ouest devraient à Votre Majesté un bienfait supérieur à tous ceux » qu'ils ont pu recevoir sous d'autres gouvernements, et les résultats » politiques d'une semblable mesure ne seraient peut-être pas moins » grands que les avantages matériels qu'on peut en attendre.

» Si Votre Majesté daigne me faire l'honneur de me recevoir en audience » particulière, je pourrai lui donner quelques détails sur les moyens d'exé- » cution, et sur la possibilité immédiate de trouver un soumissionnaire.

Digitized by Google

» Au reste, j'ai lieu de penser que M. le préfet du Morbihan, dont le
» zèle actif pour tout ce qui intéresse la prospérité de ses administrés
» ne s'est jamais démenti, a déjà appelé sur cet objet l'attention des
» ministres de votre majesté, et je n'abuserai pas plus longtemps de
» moments qui sont incessamment consacrés au bonheur de la France.

» Daignez, etc. »

Enfin, pour lever les derniers doutes de l'administration sur le haut degré d'importance que toute la population du Morbihan attachait à la construction du pont, M. Vigier, de concert avec M. le Préfet, détermina le conseil général du département à voter une somme de cent soixante-seize mille francs, destinée à alléger la charge que ladite construction devait imposer au trésor public.

Mais à cette époque, le gouvernement, qui venait enfin de comprendre que la tête d'un corps doit agir et gouverner (1), avait donné pour chef à celui des ponts et chaussées un de ses membres les plus habiles. Sous sa direction, les ingénieurs, mieux encouragés et mieux guidés, purent concevoir de plus grands projets, et lorsqu'une entreprise fut reconnue éminemment utile, les difficultés ne furent qu'un motif de plus pour l'exécuter; car, dans ce cas, l'honneur s'ajoute au profit. La construction du pont de la Roche-Bernard fut donc résolue, et à mon arrivée dans le département du Morbihan au mois de septembre 1833, je reçus l'ordre de m'occuper sérieusement de l'étude du projet.

(1) Arriver à une pareille idée, selon moi, c'est un progrès; revenir à une idée contraire, c'est rétrograder.

Digitized by Google

CHAPITRE II.

Convenait-il de confier l'exécution du pont de la Roche-Bernard à une compagnie? — Produits comparés du bac avec celui présumé du pont. — L'administration se détermine à le construire à ses frais. — Présentation d'un projet de loi. — Fixation de la hauteur du tablier.

L'administration devait-elle confier l'exécution du pont de la Roche-Bernard à une compagnie? ou lui convenait-il mieux de le faire exécuter aux frais du trésor? Telle était la première question qui dut être agitée avant la rédaction du projet définitif.

Cette question se présente sous deux points de vue, l'intérêt de l'art et l'intérêt pécuniaire du trésor, combiné avec l'intérêt particulier des localités et du commerce.

Lorsqu'il s'agit de monuments ordinaires, d'entreprises qui donnent *immédiatement* des produits capables de rendre à peu près le capital employé, et d'en payer les intérêts, j'ai toujours pensé que toutes les fois que l'État peut trouver des compagnies exécutantes présentant quelques garanties morales de la bonne confection des travaux, et qui offrent, moyennant la concession d'un péage de plus ou de moins longue durée, de les exécuter soit entièrement à leurs frais, soit en recevant une faible subvention; j'ai toujours pensé, dis-je, que l'État ne doit pas hésiter à les leur livrer, en leur imposant, toutefois, les conditions désirables de bon goût et de solidité. Tant de travaux sont réclamés aujourd'hui de toute part avec instance, que l'État n'a pas la puissance de les entreprendre seul et tous à la fois; et ce monopole, quand il aurait l'intention

Digitized by Google

de le conserver, ne retardât-il que de quelques années l'achèvement de plusieurs monuments utiles, il ne devrait pas, selon moi, se rendre responsable de ce retard, en se privant du concours de l'industrie particulière.

Qu'il livre donc à celle-ci toutes les constructions ordinaires qu'elle pourra entreprendre avec profit, et qu'il se réserve celles qui, ne produisant que des avantages éloignés, ou qui ne se traduisent pas par des produits pécuniaires immédiats, ne pourraient être l'objet d'entreprises particulières (1); il lui en restera encore assez pour charger lourdement son budget, et occuper un corps nombreux d'ingénieurs.

Je voudrais encore qu'il exceptât des travaux à confier aux compagnies ceux qui, par leur grandeur, par leur hardiesse extraordinaire, ou enfin par une raison quelconque, peuvent contribuer à illustrer une époque; de pareils monuments doivent passer à la postérité : or, le gouvernement seul a le pouvoir de leur donner la solidité nécessaire pour y arriver. Si des compagnies exécutantes, moyennant des concessions temporaires de péage, avaient exécuté l'aqueduc du Gard et tous les grands monuments que les Grecs ou les Romains ont élevés, et que leur incroyable solidité

(1) En appliquant ce principe aux chemins de fer, je dirais à l'administration :

Je suis peu touché des raisons politiques que vous apportez pour vous charger de la ligne de Belgique. Si, d'un moment à l'autre, l'intérêt de l'État, celui de la défense du royaume par exemple, l'exigaient, il est évident qu'on n'hésiterait pas une seule minute à s'en emparer. Qui empêche même qu'on n'impose à la compagnie exécutante l'obligation de transporter gratis tous les convois appartenant à l'État? Qui empêche qu'on ne se conserve le droit d'usage exclusif, ou celui d'achat moyennant une somme déterminée d'avance? Qui empêche qu'on ne se réserve également celui de diminuer les tarifs en assurant un minimum de produit, dans ce cas seulement, aux compagnies? La subvention, dira-t-on, deviendra plus forte, mais elle sera loin d'égaler les frais de construction. Or, comme la ligne de Belgique exige un peu moins de grands travaux que plusieurs autres, qu'elle traverse des contrées riches et populeuses, qu'elle unit un grand nombre de villes importantes, et enfin Londres et Paris, on trouvera probablement des compagnies qui s'en chargeront, et l'État conservera les sommes nécessaires à l'établissement d'une autre ligne, dont on s'occuperait en même temps, et dont aucune compagnie ne voudrait se charger; je veux parler de celle de Paris à Strasbourg.

Aucune compagnie ne se chargera de cette ligne, parce qu'elle exigera des travaux très-difficiles et très-dispendieux, et qu'elle traverse peu de contrées très-fertiles ou de villes populeuses, quoique ayant un grand développement. Cependant son exécution présente d'immenses avantages pour la prospérité de la France; si une pareille ligne était exécutée, le Havre et Paris deviendraient bientôt les entrepôts de toutes les denrées coloniales pour l'approvisionnement de toute l'Allemagne méridionale, et, au moyen du canal de jonction du Rhin au Danube, ce dernier fleuve les transporterait jusqu'à la mer Noire, reliée ainsi à la Manche par une communication prompte et facile à travers l'Europe.

Ces avantages pour la France ne seraient pas produits immédiatement, et il faudrait attendre que le commerce oubliât d'autres routes; c'est une raison de plus ajoutée aux précédentes pour qu'aucune compagnie ne se charge de cette ligne.

Digitized by Google

a conservés jusqu'à nos jours, on pourrait savoir sans doute que ces peuples ont glorieusement combattu pour défendre leur liberté, ou pour conquérir le monde, mais on ignorerait certainement jusqu'à quel point ils ont cultivé l'art de l'architecture, et quelle importance ils attachaient aux travaux publics.

Le pont de la Roche-Bernard est évidemment un monument de la classe dont je viens de parler : il faut qu'il dure mille ans, et qu'il contribue à illustrer l'époque actuelle ; il fallait donc adopter un système qui pût produire ce résultat, même en dépensant une somme excédant celle rigoureusement nécessaire à son établissement, somme que n'aurait pas voulu y consacrer une compagnie, parce qu'elle n'en aurait retiré aucun intérêt.

En n'examinant la question que sous le point de vue de l'art, on devait donc décider que le pont de la Roche-Bernard serait exécuté entièrement aux frais de l'État, et sous la direction des ingénieurs (1).

Mais en faisant abstraction des considérations d'art, convenait-il au moins sous le point de vue financier de faire un appel aux compagnies exécutantes ?

Je pense qu'on devait encore répondre non, et la comparaison des dépenses, même de celles strictement nécessaires, et des produits probables du pont, justifiera cette assertion. En effet :

Le bac était affermé	4,500 fr
Le passage était desservi par trois bacs, un passe-cheval et un bateau valant ensemble 7,000 fr. ; le fermier devant trouver dans les produits du passage la somme destinée à couvrir la moins value annuelle, en portant au douzième du capital précédent cette moins value, on devra ajouter aux recettes qu'il devait faire	583
Salaire de cinq bateliers pris également sur les produits du passage	1,500
Le bénéfice net présumé du fermier, d'après un grand nombre de données, a été estimé à environ 3,000 fr.	3,417
Total des produits bruts du bac	10,000

Dans les environs de Paris la substitution de ponts aux bacs a fait augmenter les produits moyennement de moitié en sus ; dans quelques localités, et principalement dans le midi de la France, ces produits ont doublé ; sans commettre d'erreur grave, on peut admettre cette dernière supposition à la Roche-Bernard, vu le grand nombre de voyageurs qui,

(1) Je ferai voir plus tard que la même considération a dû avoir une grande influence dans le choix de ses formes.

Digitized by Google

effrayés des difficultés du passage de la Vilaine, prenaient la route de Redon, quoiqu'un peu plus longue, pour aller de Nantes à Brest. En outre, la différence de longueur des deux routes de Paris à Brest en passant par Rennes ou par Nantes n'étant que de neuf postes et quart en faveur de la première, et la seconde étant plus agréable, et d'ailleurs plus promptement parcourue, on peut supposer que cette dernière sera généralement adoptée par toutes les personnes qui n'ont pas besoin de s'arrêter dans le petit nombre de villes qu'on rencontre entre Paris et Rennes. Ce n'est donc pas, je le répète, une hypothèse dénuée de probabilité que celle du doublement des produits du bac; mais il faut pourtant regarder ce doublement comme le maximum des espérances qu'il était permis de concevoir :

Soit donc le produit brut présumé du pont de		20.000 fr.
Il faut en déduire :		
1° Les frais de perception des droits de passage au moins de.	800 fr.	
2° Ceux d'entretien qu'on peut évaluer à peu près à 10 fr. le mètre courant ou à la somme totale de.	1,900 (1)	
	2,740	2,740
Reste net.		17,260

Or, en admettant que la concession eût eu cinquante ans de durée, et qu'on eût réservé chaque année mille francs pour l'amortissement du capital employé, cet amortissement n'aurait produit qu'environ deux cent neuf mille francs, et les 16,260 francs, restant de recette annuelle, n'en auraient été que l'intérêt à 7 francs 78 cent. pour cent, ce qui n'est pas trop pour une compagnie qui a à redouter toutes les chances défavorables d'une grande entreprise, surtout de l'espèce des ponts suspendus, qui peuvent succomber à l'épreuve.

Une compagnie exécutante ne pouvait donc risquer raisonnablement que deux cent mille francs dans celle du pont de la Roche-Bernard, et les subventions réunies de l'État et du département du Morbihan devaient s'élever au moins à cinq ou six cent mille francs (2).

(1) Je ne compte ici que la longueur de la partie suspendue proprement dite; cependant les poutrelles murailières, la partie du tablier encastrée sous les portiques, les pavés, les câbles de retenue et d'amarre, les garde-corps des abords, les maçonneries elles-mêmes auront besoin d'entretien. Je suis donc plutôt au-dessous qu'au-dessus de la véritable dépense.

(2) Les propositions de la plupart d'entre elles étaient en effet basées sur ce principe. MM. Seguin,

Digitized by Google

Ainsi, dans tous les cas, l'État avait à fournir comme subvention une somme à peu près égale aux trois quarts ou aux deux tiers de la dépense totale ; il était obligé de grever le commerce et les populations voisines d'un impôt onéreux ; il permettait aux compagnies d'imprimer à un des plus beaux monuments de la France le cachet d'une mesquine économie ; il perdait enfin toutes les garanties de solidité et de durée qu'il pouvait lui donner lui-même en dépensant 100 ou 150 mille francs de plus.

Dans cet état de choses, il n'y avait pas à hésiter un seul instant ; le vote du conseil général du Morbihan, qui offrait un secours de cent soixante-seize mille francs, achevait de lever toutes les incertitudes, et il fut décidé que le pont de la Roche-Bernard serait exécuté aux frais de l'État, sans établissement d'aucun péage.

En conséquence de cette décision, je rédigeai un avant-projet qui fut soumis au conseil des ponts et chaussées, conjointement avec deux autres projets présentés par MM. Bayard de la Vingtrie et de Vergès, dont je reparlerai plus tard ; le conseil général adopta le mien en principe ; en conséquence, il fut présenté à l'appui d'une demande de crédit spécial aux Chambres, qui, après avoir introduit, comme amendement, que la hauteur du tablier au-dessus des plus hautes marées d'équinoxe serait de trente-trois mètres au lieu de trente, comme je l'avais proposé, vo-

par exemple, proposaient d'exécuter le pont moyennant 600,000 fr. et la concession du péage. Parmi ces diverses propositions, je ne puis m'empêcher d'en citer une plus particulièrement que les autres parce qu'elle renfermait une idée neuve à cette époque; en voici les termes :

« 1° Le projet une fois discuté et arrêté, elle (la compagnie) mettrait la main à l'œuvre au lieu et « place de l'État, un commissaire lui étant adjoint pour constater les dépenses, sans droit de critique « et d'empêchement, toujours nuisible à la direction des travaux qui réclame le gouvernement d'un « seul.

« 2° Les travaux terminés et l'état des dépenses arrêté, le pont serait donné à ferme, dont le pro- « duit serait abandonné à la compagnie pendant une durée de pour tout dédommagement, « quelle que fût sa faiblesse, et seulement jusqu'à concurrence de 10 pour 100 de la somme qu'elle « aurait consacrée aux travaux.

« 3° Dans le cas où le prix du fermage dépasserait 10 p. 100 des capitaux fournis par la compagnie, « le taux du tarif serait abaissé successivement de manière à n'assurer que cet intérêt de 10 pour 100, « et à soulager d'autant les frais imposés aux voyageurs pour le passage du pont.

« Le montant de la subvention sera de 600,000 francs. »

Par ce projet, ce n'est pas un minimum d'intérêt que l'État assure à la compagnie, mais un maximum de produit que celle-ci s'impose. Dans les deux cas, il faut que l'administration contrôle les opérations de recette et de dépense, et c'est ce qui me paraît presque impossible d'exécuter, même avec la plus grande partialité pour les compagnies, sans les faire crier à la tyrannie et sans s'exposer à ce qu'on l'accuse de vouloir leur ruine.

Digitized by Google

tèrent, le 3 juin 1834, un crédit de. . . . . 715,000 fr.

Les fonds de secours accordés par le conseil général du Morbihan s'élevaient à. 176,000

Le crédit total, mis à ma disposition, était donc de. . . 891,000 fr.

Je dus, en conséquence, renfermer les dépenses dans les limites de ce crédit, et adopter des dispositions propres à obtenir ce résultat; mais avant d'entrer dans le détail des études auxquelles je me livrai par ordre du Conseil, études qui feront le sujet du chapitre suivant, il est nécessaire que j'explique les causes de l'amendement introduit dans mon projet par les Chambres, et les raisons qui m'avaient fait adopter la hauteur de trente mètres pour celle du tablier au-dessus des plus hautes marées d'équinoxe.

La plupart des navires qui remontent jusqu'à Redon sont d'un tonnage au-dessous de cent tonneaux, et il est rare qu'on en rencontre de trois cents; les documents qui m'ont été fournis dernièrement par la douane sont venus corroborer ceux que j'avais recueillis précédemment; voici la récapitulation de ces documents.

Du 1er janvier 1836 au 1er janvier 1839, 1,122 navires sont remontés à Redon, savoir :

Au-dessous de 100 tonneaux	1,074
De 100 à 200 tonneaux	47
De 230 tonneaux	1
Total pareil	1,122

Dans le même espace de temps, il est sorti de ce port 1,145 navires, savoir :

Au-dessous de 100 tonneaux	1,102
De 100 à 200 tonneaux	40
De 200 à 300 tonneaux	2
De 336 tonneaux	1
Total pareil	1,145

La hauteur du tablier du pont de la Roche-Bernard devait donc être telle, qu'elle permît aux bâtiments de trois cents tonneaux de passer facilement pendant les plus hautes marées d'équinoxe (1); il fallait donc

(1) C'est-à-dire pendant les deux demi-heures de l'année les plus défavorables au passage; une hauteur de tablier au-dessus des marées moyennes, un peu plus grande que celle de la mâture d'un

Digitized by Google

s'assurer, par des renseignements incontestables, de la hauteur de la mâture de ces bâtiments. Voici ceux que j'ai recueillis :

1° J'ai consulté d'abord les principaux constructeurs du port de Lorient ; voici les renseignements qu'ils m'ont fournis :

La hauteur moyenne de la mâture d'un navire de commerce de trois cents tonneaux est de	104 pieds.
En dépassant les cacatois, opération facile qui peut s'exécuter sans même arrêter la marche du navire, on obtient une réduction de	24
Reste	80

ou environ 26 mètres ; mais ces navires jaugés à la douane pour trois cents tonneaux, en ont ordinairement trois cent trente.

Les gabarres de l'État qui n'ont pas de cacatois ont une hauteur de	31m,80
En dépassant le perroquet	6 ,34
Reste	25 ,46

2° A Redon, M. Champonnois, alors ingénieur sur le canal de Nantes à Brest, a rassemblé les constructeurs de cette ville ; voici les résultats de son enquête :

	TONNAGE.		
	300 tonneaux.	400 tonneaux.	500 tonneaux.
	pieds.	pieds.	pieds.
Le navire au lest présente une longueur de grand mât au-dessus de l'eau	50	55	58
La portion de son grand mât de hune (ton (1) déduit) au-dessus de l'extrémité du bas mât est de	27	29	31
La portion du mât de perroquet, flèche comprise, au-dessus du mât de hune	30	32	34
Totaux	107	116	123
En déduisant la hauteur des perroquets	30	32	34
Reste	77	84	89

bâtiment de trois cents tonneaux, eût donc à la rigueur été satisfaisante ; car, au moment de la haute mer, il n'existe plus de courant sur la rivière, et les navires qui ne montent qu'avec la marée mouillent ordinairement à pleine mer.

(1) On appelle *ton* le doublement d'un mât sur l'autre pour les assembler.

Digitized by Google

Il faut remarquer qu'il est arrivé quelquefois à Redon des sloops qui n'ont pas de perroquets, et dont la hauteur de la mâture est de vingt-huit mètres.

3° Enfin, M. Billaudel, ingénieur en chef de Bordeaux, m'a fourni les renseignements suivants, recueillis par lui auprès des constructeurs et armateurs de cette ville.

Le grand mât ou bas mât a de longueur, depuis l'implanture jusqu'à la hune.	20m,00	22m,00
Depuis la hune jusqu'au chouq, portion qui constitue le ton.	2 ,00	
Le mât de hune a de longueur, depuis sa naissance jusqu'aux barres	11 ,50	12 ,75
Depuis les barres jusqu'au chouq (ton).	1 ,25	
Le mât de perroquet, depuis sa naissance jusqu'aux barres ou au capelage coyan ou cacatois.	6 ,50	8 ,50
Et de flèche au-dessus des barres ou du capelage.	2 ,00	
Total.		43 ,25

Sur cette longueur, il faut pourtant déduire :

1° La longueur calculée des tons du grand mât et du mât de hune ensemble.	3 ,25	
La portion du grand mât qui se trouve dans le cale au le corps du navire, entre la ligne de flottaison et le quille, et qui, lorsque le navire est en charge, est d'au moins.	4 ,00	
	7 ,25	7 ,25
Reste pour la hauteur du grand mât au-dessus de la ligne de flottaison, les trois pièces qui le composent étant guindées.		36 ,00
En calant ou recalant le mât de perroquet, cette hauteur se trouve réduite de toute la portion comprise entre le chouq du mât de hune et le capelage du perroquet, quantité égale à.		5 ,25
Reste donc pour la hauteur du grand mât, dans cette hypothèse.		30 ,75

En dépassant (1) le mât de perroquet, qui se trouve avoir de grandeur relative en place 7m,25 au-dessous du chouq du mât de hune, on diminue de cette quantité le grand mât, qui ne conserve plus qu'une longueur de. 28m,75

D'après tout ce qui précède, j'étais donc en droit de fixer la hauteur du tablier à 30 mètres, et le Conseil des ponts et chaussées, ainsi que M. le directeur général, l'avait adoptée; mais la Chambre des députés,

(1) Quoique l'opération de dépasser le perroquet soit très-facile, comme on l'a déjà fait observer, celle de le caler, qui consiste à l'abaisser verticalement en le laissant glisser sur le mât inférieur, l'est encore davantage.

Digitized by Google

malgré l'observation que lui fit cet administrateur, que chaque mètre d'élévation de plus augmenterait la dépense d'environ 30,000 fr., exigea que la hauteur du tablier du pont au-dessus des plus hautes marées d'équinoxe fût de 33 mètres, ce qui l'établissait à 39^{m},70 au-dessus des plus basses marées.

Ces données principales ainsi arrêtées, je n'eus plus qu'à m'occuper du projet définitif et détaillé.

Digitized by Google

CHAPITRE III.

Indication et description sommaire de projets présentés. — Projet de M. Luczot. — Projets de MM. Bayard de la Vingtrie et de Vergès. — Projet de M. Jules Seguin. — Étude de divers systèmes ordonnée par le Conseil général des ponts et chaussées. — Câbles en fils de fer et chaînes en fer forgé. — Grande et petite portée. — Une seule ou une double voie. — Moyen proposé pour établir une gare au milieu du pont dans la première de ces deux hypothèses. — Proposition pour construire les câbles sur place, en se servant des portiques comme métiers. — Étude de poutres en fer. — Données définitives qui ont fait la base du projet adjugé.

Avant d'entrer dans les détails des études exigées de moi par le Conseil général des ponts et chaussées, il me paraît convenable de donner une description sommaire des projets qui ont été rédigés avant le mien.

Ces projets sont au nombre de quatre : le premier, comme je l'ai déjà dit, appartient à M. Luczot, ancien ingénieur en chef du département du Morbihan (*voyez* Pl. II, *fig.* 1re).

Cet ingénieur avait choisi l'emplacement marqué AB (*voyez* Pl. 1re). Il élevait deux culées, dont les sommets étaient distants entre eux de 234 mètres; le bandeau dont elles étaient couronnées était placé à 33 mètres au-dessus du niveau des plus grandes marées d'équinoxe; leurs talus, dans tous les sens, étaient du dixième de leur hauteur (1).

(1) N'ayant pu me procurer aucun dessin appartenant à ce projet, je ne reproduis ici les formes principales que d'après les indications d'un devis que j'ai sous les yeux, il serait donc possible que ma description contînt quelque inexactitude.

Digitized by Google

En retraite de 4 mètres sur les culées, il établissait les supports des chaînes. Ces supports avaient 18 mètres de largeur à la base, réduite à 6m,20 au sommet; ils étaient flanqués par derrière par deux contre-forts ayant la forme indiquée par la figure; leur hauteur était de 22m,45. Le tablier était composé de poutres jumelles sur lesquelles étaient placés deux autres rangs de poutres de 18 centimètres sur 22 d'équarrissage, le premier en longueur et le second en travers, et portant le plancher composé d'un seul rang de madriers jointifs placés en longueur, et de 0m,09 d'épaisseur; ce plancher seul était en chêne, le reste devait être en sapin du Nord.

Le tablier était suspendu, au moyen de tiges en fer forgé de 0m,42 de diamètre, à trois nappes de chaînes de fer, composées chacune de quatre cours de chaînes; ces tiges devaient être attachées alternativement sur la première et la seconde chaîne, sur la seconde et la troisième, et ainsi de suite. Le bombement longitudinal du tablier devait être de 1m,50, de sorte que la hauteur du passage sous le milieu du pont était fixée à 34m,50 au-dessus du niveau des plus hautes mers.

La distance entre les centres de suspension au sommet des supports était sur 262 mètres, la flèche des chaînes de 17m,33, c'est-à-dire du quinzième de l'ouverture.

Les chaînes au delà des supports ne s'inclinaient pas sous le même angle sur les deux rives. Cette différence avait paru à l'auteur du projet commandée par les inclinaisons inégales des rochers, et par la loi qu'il s'était imposée de les faire égales en longueur. Elles entraient, à 50m,90 de l'axe desdits supports, dans des puits creusés dans le rocher à 6m,50 de profondeur, et elles y étaient amarrées au moyen de voûtes renversées en pierres de taille.

L'emploi des chaînes de fer au lieu de câbles; le peu de flèche que M. Luczot voulait leur donner; le double rang de poutres, qui rendait le plancher beaucoup trop pesant, et exigeait, comme conséquence, l'emploi d'un plus grand nombre de chaînes de suspension; la grande hauteur enfin et l'excessive épaisseur des supports et des culées, expliquent suffisamment l'élévation du chiffre où était arrivé M. Luczot.

Au commencement de 1833, MM. Bayard de la Vingtrie et de Vergès présentèrent à M. le directeur général deux autres projets de pont pour la Roche-Bernard; les principales dispositions de ces deux projets sont représentées par les figures 2 et 3 de la planche II.

Digitized by Google

Dans le premier, ils avaient choisi l'emplacement de la Bousée CDE (*voyez* Pl. Ire); leur principal pilier était fondé sur ce rocher. Le pont était composé de deux supports principaux, espacés d'axe en axe de 151^m^,70; la partie de ces supports comprise entre le niveau du plancher et celui des hautes mers d'équinoxe devait avoir une hauteur de 26^m^,50 seulement, une épaisseur de 9 mètres à sa base, réduite à 4^m^,70 à son sommet; celle supérieure au plancher, et destinée à porter les chaînes de suspension, avait une hauteur de 17 mètres et une épaisseur de 3 mètres à son sommet, partageant les inclinaisons d'un vingtième et d'un quinzième données aux parties inférieures.

Sur chacun de ces piliers reposaient trois nappes de chaînes de fer ayant une flèche de 16 mètres environ, c'est-à-dire entre le huitième et le neuvième de l'ouverture. Ces chaînes allaient s'enfoncer dans les rochers des deux rives, dans des puits au fond desquels elles étaient amarrées au moyen de plaques en fonte et de forts blocs de pierre de taille.

A ces chaînes était attaché, au moyen de tiges carrées de 0^m^,03 et disposées comme dans le projet de M. Lucot, un plancher composé de poutrelles jumelles de 0^m^,40 d'épaisseur au milieu, sur lesquelles reposaient deux planchers, l'un composé de madriers jointifs posés en longueur, et un second placé en travers.

La voie charretière devait avoir 4^m^,50 de largeur, et être accompagnée de deux trottoirs d'un mètre.

L'élévation du milieu du tablier au-dessus des plus hautes marées, devait être de 27^m^,50 seulement.

Les appareils mobiles placés sur les piliers étaient à trois étages et roulaient, au moyen de rouleaux en fer forgé, sur des plans horizontaux (*voyez* Pl. IIe, *fig.* 5).

MM. Bayard de la Vingtrie et de Vergès avaient voulu réunir les grands piliers aux deux rives par un système de suspension; mais ils avaient été effrayés de l'idée d'établir deux grandes travées latérales, en faisant remplir aux grands piliers les fonctions de culées, et en y amarrant les chaînes, soit de la grande, soit des petites travées. Ils pouvaient, à la vérité, faire reposer seulement sur ces piliers les chaînes de la grande travée en les prolongeant jusqu'au rocher en chaînes de retenue à travers les travées latérales, et en y amarrant seulement les chaînes de ces dernières qui auraient été indépendantes des autres (*voyez* Pl. II, *fig.* 4); mais il en serait résulté un croisement peu agréable à l'œil, soit en adop-

Digitized by Google

tant la disposition ABC, soit celle ADC. Pour parvenir au résultat qu'ils désiraient, en évitant les inconvénients signalés ci-dessus, ils imaginèrent d'établir entre les grands piliers et les rives deux petites travées de 30 mètres sur la rive gauche, et une d'égale largeur sur la rive droite ; les tabliers de ces petites travées n'étaient pas suspendus à des chaînes, mais portés par elles, comme on peut le voir sur la figure ; de cette manière, ils obtenaient les avantages suivants (1) :

1° Ils continuaient le système économique de suspension d'un rocher d'une rive à l'autre sans interruption ;

2° Ils ne faisaient remplir aux grands piliers que les fonctions de supports de la grande travée intermédiaire ;

3° Ces piliers ne servaient, de chaque côté, de culées, que pour deux petites travées de 30 mètres ;

4° Ils évitaient tout croisement des chaînes de support et de retenue.

Au moyen de ces dispositions, au moyen de la grande augmentation de la flèche des chaînes, portée à plus du neuvième de l'ouverture, et de la substitution presque générale du moellon à la pierre de taille, ils parvenaient à réduire le chiffre de la dépense à environ 800,000 francs.

Dans leur second projet, auquel ils donnaient la préférence, ils choisissaient le même emplacement AB que M. Luczot ; ils supprimaient les grands piliers et établissaient une grande travée de 295 mètres d'ouverture pour la partie suspendue, ou de 318 mètres entre les centres des supports placés en dehors des routes aux abords, de sorte que les voitures auraient passé sous les chaînes de suspension (*voyez* Pl. II, *fig.* 3) ; les portiques eussent été remplacés par des piliers isolés de 8^{m},50 d'épaisseur à la base, réduite à 4^{m},50 au sommet ; les chaînes, disposées dans le même système qu'au projet précédent, eussent en une flèche d'environ 38 mètres, c'est-à-dire d'un peu moins du huitième de l'ouverture ; ils pensaient que cette seconde disposition, qui avait l'avantage de réduire le temps d'exécution à deux campagnes, n'exigerait, comparée avec l'autre, qu'un surcroît de dépenses d'environ 30,000 francs.

Dans leurs deux projets MM. Bayard de la Vingtrie et de Vergès se proposaient d'employer au sommet des portiques le système de chariots

(1) On peut voir Pl. XI quelques détails de ce système ; les figures 8 et 9 montrent comment les poutrelles jumelles *pp* reposent sur les chaînes par l'intermédiaire des montants *mm* ; la figure 10 donne le détail de l'assemblage de ces montants avec les chaînes ; enfin la figure 7 représente une des plaques d'amarre en fonte, employées par les auteurs du projet.

Digitized by Google

mobiles dont ils se sont servis dans un grand nombre de ponts (*voyez* Pl. II, *fig.* 5). Ces chariots mobiles en fonte auraient été à trois étages séparés par des cloisons; les trois nappes de chaînes en seraient sorties aux points A, B et C; ils auraient roulé sur de petits rouleaux en fer forgé de $0^m,10$ de diamètre placés sur une plaque en fonte horizontale, également de $0^m,10$ d'épaisseur.

Je me borne, comme on voit, dans cette notice, à indiquer les différentes idées qui ont été conçues pour l'exécution du pont de la Roche-Bernard, sans en faire un examen critique; cependant je ne puis m'empêcher d'observer que j'aurais été effrayé de l'idée de lever à plus de 60 mètres des chaînes d'un poids d'environ 50,000 kilogrammes, sans pouvoir prendre de points d'appui au milieu de la rivière, surtout quand je réfléchis que le levage de mes câbles, qui n'en pesaient que 2,000, n'a pas été exempt de quelque difficulté.

Au moment où M. le préfet du Morbihan recevait les soumissions des entrepreneurs qui désiraient prendre l'adjudication des travaux, MM. Seguin lui firent remettre une déclaration par laquelle ils s'engageaient, moyennant une subvention de 600,000 francs et la concession du péage, à exécuter le pont en se conformant aux dispositions du projet joint à leur déclaration.

Quoique cette proposition fût irrégulière et intempestive, et ne pût être par conséquent accueillie, le nom seul de ses auteurs me faisait un devoir d'examiner avec soin ledit projet, et de faire un rapport spécial à son sujet à M. le directeur général des ponts et chaussées. En voici les principales dispositions (*voyez* Pl. III, *fig.* 1).

Le pont aurait été réduit au minimum d'ouverture de 140 mètres, en établissant un des piliers supports sur le rocher de la Bousée (D, pl. Ire). Ces piliers, en maçonnerie brute au-dessous du plancher, n'auraient eu qu'une largeur de 5 mètres à la base, réduite à $3^m,80$ au sommet; ils se seraient prolongés au-dessus du plancher en forme de troncs d'obélisques de $2^m,50$ d'épaisseur au sommet; ces obélisques auraient été formés d'une suite de chaînes horizontales en pierre de taille, espacées entre elles, et reliées par des chaînes verticales (1). Les piliers devaient se

(1) Je ne pense pas qu'il soit possible de trouver un système de maçonnerie plus vicieux; si la maçonnerie de moellon formant remplissage entre les chaînes horizontales avait pris plus de tassement que les chaînes verticales en pierre de taille, celles-ci auraient porté seules le poids des maçonneries supérieures.

Je sais que quelques ingénieurs prétendent que les bonnes maçonneries ne prennent pas de tasse-

Digitized by Google

réunir aux rives par une suite d'arcades d'inégale grandeur, indépendantes des amarres, les câbles de retenue passant en dehors et allant s'amarrer aux rochers sans traverser les maçonneries; les câbles établis par paires devaient affecter la disposition de la figure 4, Pl. II; ils auraient eu une flèche d'un peu plus que le dixième de l'ouverture; les fils auraient éprouvé des tensions qui pouvaient s'élever à 30 kilogrammes.

MM. Seguin avaient proposé de substituer aux poutrelles en bois des poutrelles de fer de la forme représentée dans la planche II, *fig.* 6; malheureusement ils n'avaient pas indiqué dans leur projet les formes et dimensions transversales de ces poutrelles, de sorte qu'il ne m'a pas été possible de calculer leur poids et leur force de résistance, comparés avec ceux des poutrelles en bois. Les expériences que j'ai faites plus tard me font préjuger que ce poids aurait nécessairement excédé celui des poutrelles ordinaires, et que peut-être leur résistance n'aurait pas répondu à ce qu'on en attendait.

En somme, le projet de MM. Seguin n'était à proprement parler qu'un simple aperçu non étudié, et dont les principales dispositions, telles que le système de maçonnerie des piliers, leur peu d'épaisseur et la grandeur de la flèche des câbles (1), eussent été probablement modifiées par eux pendant l'exécution; mais tout rapide qu'était cet aperçu, il contenait cependant des réflexions et quelques préceptes de détails dignes d'aussi habiles constructeurs, et dont je me suis empressé de faire mon profit.

Il ne me reste plus pour compléter ce chapitre qu'à rassembler en regard, dans un tableau, les diverses dispositions des projets ci-dessus; ce rapprochement peut offrir quelque intérêt si on compare lesdites dispositions à celles du projet exécuté et aux dépenses.

ment; mais s'ils se sont bornés à examiner les effets du tassement sur les murs de quelques mètres de hauteur, ou s'ils n'ont pas eu pour mesurer ces tassements des instruments donnant des fractions de millimètres, leur opinion n'a pas de base certaine.

Or, un demi-millimètre de tassement par 5 mètres de hauteur produit un total de près de six centimètres sur une hauteur de 56 mètres.

(1) A l'élégant pont de la Préfecture, que MM. Seguin ont construit à Lyon, les colonnes sur lesquelles les câbles reposent n'ont qu'un mètre de diamètre au sommet; mais ce pont est interdit au public pendant les fêtes publiques.

La flèche adoptée par eux et par toutes les compagnies est ordinairement du dixième de l'ouverture; mais les ponts du Rhône, exposés aux vents du nord et du midi, et qui n'ont pas l'ouverture de celui de la Roche-Bernard, sont très-oscillants.

Digitized by Google

INDICATION des PRINCIPALES DISPOSITIONS.	PROJET exécuté.	PROJET de M. Lucas.	PROJET de M. Seguin.	PROJETS de MM. Bayard de la Vingtrie et de Vergès.		OBSERVATIONS.
				A travée unique.	A travées latérales.	
Dépense soit faite, soit prévue.	fr. 1,000,000	fr. 2,200,000	fr. 800,000	fr. 800,000	fr. 830,000	Il faut observer que dans le projet exécuté il y a eu pour environ 75 mille francs de dépense pour changement de carrière ; une augmentation à peu près semblable eût eu lieu dans tous les projets. Aurait-il existé d'autres augmentations? C'est ce que l'exécution seule eût pu apprendre. Enfin l'on remarquera que je ne porte ici que les dépenses pour travaux proprement dits, et que je ne parle pas des approvisionnements laissés pour entretiens, frais de conduite, etc.
Hauteur du tablier au-dessus des plus hautes marées.	33m,00	34m,50	27 ,50	27m,50	27m,50	
Rapport de la flèche des chaînes ou des câbles à l'ouverture (1).	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{8,11}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8,10}$	
Fruit des piles ou culées.	$\frac{1}{18}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{18}$ et $\frac{1}{10}$	
Épaisseur moyenne des grands piliers au-dessous du tablier.	12 ,20	25 ,00	3 ,80	•	•	
Épaisseur des sommets des supports au-dessus du tablier.	5 ,10	12 ,00	2 ,50	4 ,50	3 ,80	
Ouverture de la travée principale. . . .	193 ,17	234 ,00	140 ,00	295 ,00	160 ,00	
Longueur totale de la partie suspendue. .	193 ,17	262 ,00	140 ,00	318 ,00	230 ,00	
Longueur de la partie non suspendue. .	156 ,00	100 ,00	183 ,00	•	64 ,00	
Rapport de la tension à la résistance par millimètre quarré.	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{6,46}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	

(1) Je n'ai pas besoin de rappeler que plus le rapport entre la flèche et l'ouverture est petit, moins le point est oscillant.

Digitized by Google

Ce tableau est bien incomplet, sans doute, puisqu'il ne fait pas entrer en ligne de compte la beauté de l'exécution, le choix des matériaux, et beaucoup d'autres détails; cependant il suffit pour faire voir, d'une part à quelle dépense un homme de talent peut être entraîné, quand il s'exagère la nécessité de multiplier les garanties de solidité, et de l'autre, à combien peu se réduisent les économies auxquelles peuvent arriver les compagnies en sacrifiant une partie de ces garanties.

Je poursuis maintenant l'historique de mes propres études.

Avant de prendre une décision définitive, le Conseil des ponts et chaussées désira que j'étudiasse les différents systèmes qu'il était possible d'adopter; en conséquence, je rédigeai plusieurs avant-projets (Pl. III et IV):

1° En fils de fer à trois travées, les piles-culées étant fondées au bord de la rivière sur la rive droite, et sur le rocher de la Bousée sur la rive gauche (Pl. III, *fig* 2);

2° En chaînes de fer suivant les mêmes données;

3° En fils de fer à travée unique, mais réduite au minimum d'ouverture de 160 mètres; dans cette combinaison la partie en maçonnerie présentait son maximum de hauteur, de longueur et de cube;

4° En fils de fer avec une ouverture moyenne de 240 mètres, avec longueur, hauteur et quantité moyennes de maçonnerie (*fig.* 3);

5° En fils de fer avec le maximum d'ouverture, c'est-à-dire 340 mètres, avec le minimum de maçonnerie en hauteur et longueur (Pl. IV, *fig.* 1).

Je dus combiner ensuite ces données principales avec celles secondaires de diverses tensions par millimètre quarré de section des chaînes et des câbles, d'une voie simple ou double, avec ou sans trottoirs; enfin on me recommanda l'étude des poutres en fer à substituer à celles en bois.

La première combinaison était la plus hardie, puisque les grands piliers étaient sollicités en renversement par une force de près de 400,000 kilogrammes dans l'hypothèse de la charge au maximum d'une travée, quand l'autre ne l'aurait été que du poids seul de la construction; cependant une épaisseur au sommet de 11 mètres eût été plus que suffisante (1);

(1) Indépendamment des calculs directs qu'on peut faire pour trouver la résistance d'un pilier qui tend à être renversé par une force horizontale agissant à son sommet, on peut, en comparant l'épaisseur qu'on veut lui donner avec celle de piliers semblables qui ont résisté à l'épreuve, s'assurer si celui projeté est dans d'aussi bonnes conditions d'équilibre que les premiers.

Il est facile de démontrer que les produits des carrés des épaisseurs desdits piliers, multipliés par

Digitized by Google

ainsi cette combinaison était loin d'être impossible. Cependant, quand on réfléchit qu'une mauvaise exécution de maçonnerie, l'emploi de mortier que les grandes pluies peuvent rendre médiocre, quelque soin qu'on emploie à le fabriquer, peuvent compromettre une pareille construction, on doit toujours hésiter beaucoup à l'adopter et à soumettre des piliers isolés à de pareils efforts : c'est donc avec raison que le conseil des ponts et chaussées rejeta ce système.

Je fis également rejeter l'emploi du fer en barres par un grand nombre de raisons que je ne répèterai pas ici; elles sont assez développées dans l'article que j'ai publié dans le numéro des *Annales des ponts et chaussées*, du mois de mai 1835. Je crois avoir prouvé dans cet article :

1° Qu'il y a toujours économie à employer le fil de fer de préférence au fer forgé pour le système de suspension;

2° Que pour un pont exigeant 200,000 kilogrammes de fils de fer, l'économie qui résulte de cet emploi produit, après vingt-trois années, en capitalisant les intérêts, une somme suffisante pour refaire à neuf tout le système de suspension, en laissant encore libre un capital plus fort que celui économisé précédemment;

3° Qu'en admettant qu'on ne puisse donner une égale tension aux fils qui composent un câble, le problème d'égale tension n'est pas plus facile à résoudre dans un système de chaînes de fer.

Au surplus, il est inutile de plaider aujourd'hui la cause du fil de fer contre le fer en barres; les faits sont plus puissants que les meilleurs raisonnements; jamais un câble ne s'est brisé pendant l'épreuve des ponts

leurs largeurs, doivent être proportionnels aux forces horizontales qui tendent à les renverser; en effet :

Soient (planche 2, *fig.* 7) AB un pilier sollicité au renversement par une force T, la puissance et la résistance étant en équilibre, et A'B' un autre pilier dont on veut connaître l'épaisseur, et qui est sollicité au renversement par une force T'.

Soient e, l et h les épaisseur, largeur et hauteur, ou bras de levier du premier pilier à l'extrémité duquel la puissance est appliquée, l'équation des moments sera $elh \times p \times \frac{1}{2}e = hT$.

p étant le poids du mètre cube de maçonnerie :

$e'l'h' \times p \times \frac{1}{2}e' = h'T'$ sera l'équation des moments du pilier nouveau; de ces équations on tirera $elh \times p \times \frac{1}{2}e : e'l'h' \times p \times \frac{1}{2}e' :: hT : h'T'$, ou, en réduisant, $e^2 l : e'^2 l' :: T : T'$.

Dans cette proportion e' seul est inconnu, car la largeur du pont donne l', et T' se calcule indépendamment de la résistance des piliers.

Cette formule est commode pour calculer sur-le-champ l'épaisseur à donner à un pilier de pont suspendu à plusieurs travées, quand on connaît l'épaisseur d'un autre pilier-culée qui a résisté à l'épreuve et la composante horizontale qui le sollicitait au renversement.

Digitized by Google

suspendus ; de nombreux accidents, au contraire, ont eu lieu dans les chaînes de fer, et ont fini par les faire abandonner tout à fait, de sorte que l'on ne construit plus maintenant que des ponts suspendus à des câbles ; la question d'avenir me paraît également jugée, soit par la durée des câbles du pont de Tournon, soit par la vérification de l'état de ceux du pont d'Argentat, soit enfin par celle des câbles du petit pont de Brest que j'ai cité dans le numéro des Annales dont je viens de parler plus haut ; et je serais même tenté de croire que l'entretien des câbles en fils de fer est plus facile que celui des chaînes, car dans celles-ci il existe une foule d'endroits dans les assemblages, où il est impossible d'introdnire de la peinture, et surtout de la conserver à cause des frottements, tandis que les câbles peuvent être peints partout, surtout si l'on adopte mon système d'amarrage. Or, j'avoue que je ne comprends pas comment un fil de fer peut s'altérer quand sa surface est mise constamment à l'abri du contact de l'humidité ; cela me fait croire à une très-longue durée des ponts suspendus à des câbles en fils de fer, s'ils sont entretenus avec soin.

Dans les troisième et cinquième combinaisons, il s'agissait principalement de comparer les avantages et les inconvénients du minimum ou du maximum d'ouverture, car la quatrième devait nécessairement participer des uns et des autres.

Avec le minimum d'ouverture, les difficultés de fabrication des câbles et de pose devenaient un peu moins grandes ; on concevait moins de crainte sur les effets des oscillations du pont pendant les ouragans ; enfin, on diminuait les efforts exercés sur les culées et ceux qui agissent verticalement sur les piliers, mais on augmentait considérablement les difficultés de construction des maçonneries, qui devaient s'élever dans ce cas d'au-moins 56 mètres au-dessus de leurs fondations ; si des efforts horizontaux devaient avoir lieu, c'était donc à l'extrémité d'un bras de levier de cette longueur qu'ils se fussent opérés ; enfin le poids seul des maçonneries, pour peu que leur exécution n'eût pas été parfaite, pouvait les faire écrouler.

Avec le maximum d'ouverture, au contraire, les piliers inférieurs aux portiques se trouvaient supprimés, et ces portiques, d'une hauteur au plus de 30 mètres, présentaient alors toutes les garanties désirables de solidité, ils eussent d'ailleurs été construits entièrement en pierre de taille, et cette espèce de maçonnerie, dont l'exécution est plus facile à

Digitized by Google

surveiller, offre moins de chances de fraudes ou de malfaçons, surtout dans la confection des mortiers qui n'ajoutent presque rien à sa solidité : les difficultés d'exécution des maçonneries étaient donc à peu près anuihilées par ce système; il est vrai que celles de la pose des câbles devenaient un peu plus considérables, les efforts exercés sur les culées augmentaient, et l'on avait à craindre de plns pnissantes oscillations horizontales au sommet des portiques; mais le système de fabrication et de pose des câbles par éléments rend toujours ces mains-d'œuvre faciles; l'amarrage dans le rocher donne les moyens de résister à toutes les tractions, quelque grandes qu'elles soient, enfin les expériences déjà faites prouvaient que ces oscillations sont peu à craindre. A ces considérations s'en joignait une autre non moins puissante : en adoptant le maximum de portée, et réduisant ainsi beaucoup le cube des maçonneries, deux années suffisaient pour exécuter tous les travaux, tandis qu'il en fallait trois ou quatre dans l'autre système.

Tout semblait donc au premier coup d'œil plaider la cause de la grande portée.

Cependant je ne m'attendais pas qu'elle pût prévaloir un instant au sein du conseil, tel surtout qu'il était composé en 1834; les savants ingénieurs qui le formaient alors avaient tous exécuté de grandes et difficiles maçonneries, les difficultés que présente cette espèce de travail ne pouvaient donc les effrayer beaucoup; tandis qu'aucun d'eux n'avait construit de ponts suspendus, et des portées de plus de deux cents mètres ne pouvaient manquer de les étonner. Le pont de Fribourg que venait de construire M. Chaley ne les rassurait pas entièrement; ce travail leur paraissait un tour de force qu'il n'était pas prudent d'imiter, sans sortir des règles de la prudente circonspection que doit s'imposer l'administration; ils crurent donc diminuer la hardiesse de la construction et les chances d'insuccès, en adoptant à peu près le minimum d'ouverture et le maximum d'élévation des supports, et en cela je crois qu'ils se sont tout à fait trompés. Des piliers assez minces, élevés, de 56 mètres, et au sommet desquels on place une masse oscillante d'un poids qui s'est élevé de 5 à 600,000 kilog. au moment de l'épreuve, forment une construction hasardeuse, qu'on pourrait même appeler téméraire, car on ne peut jamais calculer exactement la résistance de pareils piliers contre des tractions horizontales; tandis qu'une centaine de mètres de plus dans l'ouverture d'une travée suspendue peut sans doute favoriser un peu la tendance aux mouvements

Digitized by Google

horizontaux (1), mais n'augmente pas d'une manière notable les difficultés de main-d'œuvre, et comme on est maître de donner aux câbles la force qu'on désire, et que le calcul ne trompe jamais dans ce cas, peu importe qu'on augmente beaucoup les tractions. De ce qui précède, on peut conclure que c'est par timidité que le conseil des ponts et chaussées a adopté le système le plus hardi; quant à moi, j'ai toujours été tellement convaincu de l'opinion contraire à la sienne que lorsque mes maçonneries ont été terminées sans accident, j'ai regardé l'épreuve du pont comme faite.

Cependant, à l'appui des raisons de prudence, peu satisfaisantes selon moi, qu'on donnait pour faire adopter le maximum de hauteur et de longueur des maçonneries et le minimum d'ouverture, on faisait valoir un motif qui me parut parfaitement fondé, et qui me rallia, je l'avoue, au système de la petite portée.

Quelque hardies que soient des maçonneries, quand elles ont été exécutées avec soin, avec des matériaux durs et d'excellent mortier, quand elles ont été surtout consolidées par le temps, elles finissent par présenter des masses d'une durée presque indéfinie, car il est essentiel de remarquer que la solidité de pareilles maçonneries va sans cesse en s'augmentant d'année en année (2); la suspension au contraire s'altère chaque jour, et doit être renouvelée à une époque qui ne peut être extrêmement éloignée (3), une foule d'accidents, comme un incendie qui, non-seulement brûle le bois, mais recuit le fil de fer, en lui enlevant presque toute sa force, la guerre enfin peuvent l'anéantir en un seul jour; la partie fixe d'un pareil pont doit être regardée comme la partie durable, et la partie suspendue comme la partie périssable.

Il suit de là qu'un pont suspendu à très-grande portée, outre qu'il exige

(1) Les mouvements horizontaux du pont de la Roche-Bernard sont peu considérables.

(2) Les mortiers même hydrauliques prennent corps lentement quand ils sont privés du contact de l'air, et l'on tombe dans une grave erreur en croyant qu'il suffit qu'ils sèchent et en jugeant de leur dureté par celle des petits échantillons qu'on a faits pour essais : c'est le contact de l'air qui les durcit. J'ai brisé souvent des boules de mortier dont j'ai trouvé l'intérieur parfaitement sec, et cependant elles n'étaient dures qu'à l'extérieur. Enfin j'ai ouvert mes piliers dans quelques endroits, un an après leur construction, et j'en ai retiré des morceaux de mortier qui s'écrasaient facilement sous les doigts, quand des échantillons d'essais, faits avec du même mortier, avaient acquis la dureté de la pierre après deux mois d'âge.

(3) Je pense cependant que des câbles bien entretenus, c'est-à-dire dans l'intérieur desquels on introduit souvent de l'huile bouillante légèrement chargée de litharge et de céruse, que l'on peint, en outre, souvent à l'extérieur avec de la céruse épaisse, doivent durer très-longtemps; mais, il faut l'avouer, en général en France on construit mieux qu'on n'entretient.

Digitized by Google

de plus grandes dépenses quand on renouvelle son système de suspension, a l'inconvénient de paraître, pour ainsi dire, un ouvrage provisoire, tel qu'en exécutent les compagnies qui pensent davantage à rentrer dans le capital dépensé avant que leur concession finisse, qu'à travailler pour la postérité, tandis que celui qui présente la plus petite ouverture possible, avec de grandes masses de maçonneries, doit mieux offrir l'apparence de la solidité et de la durée, et par conséquent le caractère d'un grand monument, comme doivent en élever les grands peuples. Tel est l'effet produit par le pont de la Roche-Bernard, quand on le compare à celui de Fribourg. Ce dernier, dans lequel la suspension est tout et la maçonnerie presque rien, étonne peut-être davantage au premier coup d'œil, mais il rassure et satisfait moins l'esprit; il se rapproche peut-être plus, par son aspect, des constructions gracieuses, mais éphémères, de l'époque actuelle, tandis que le pont de la Roche-Bernard ressemble davantage aux monuments gigantesques que nous a légués l'ancienne Rome.

En définitive, si j'avais été chargé par une compagnie de construire le pont de la Roche-Bernard, j'aurais adopté la grande portée de 340 mètres comme plus économique et d'une exécution plus facile et plus prompte; mais en le construisant pour le compte de l'État, je suis bien aise que le conseil des ponts et chaussées ait adopté la portée moyenne.

La question d'une voie unique ou d'une double voie charretière fut aussi longuement débattue, et la première de ces dispositions obtint même un instant de triomphe; ce fut alors qu'en désespoir de cause, je proposai un moyen d'établir une gare au milieu du pont, moyen que je n'ai encore vu employer nulle part, et qui cependant me semble offrir de grands avantages, quand les ponts à voie unique sont un peu longs.

Ce moyen est extrêmement simple et consiste à établir les chaînes ou câbles, de manière à ce qu'au milieu du pont ils se trouvent un peu en contre-bas du tablier; alors les poutrelles reposant sur les chaînes ou câbles au lieu d'y être suspendues, peuvent être prolongées jusqu'à environ $0^m,50$ de l'axe de suspension, ce qui fait gagner souvent environ $1^m,50$ sur chaque tête, et donne au pont la double voie dans cet endroit.

Il est facile de se convaincre que ce moyen si simple d'établir une gare au milieu de la travée d'un pont suspendu (1) n'offre aucune espèce d'inconvénient.

(1) Dans quelques ponts à deux travées et à une voie exécutés dans le midi, on a établi la gare sur

Digitized by Google

Il n'augmente pas la dépense d'une manière très-notable, car la charge d'épreuve n'est pas beaucoup plus forte si la gare a peu de longueur : il ne faut donc ajouter aux câbles qu'un très-petit nombre de fils ; quant à l'augmentation de la quantité de bois du tablier, elle est plus que compensée par la diminution de hauteur des piliers (1).

L'aspect désagréable que présentent les ponts portés par les chaînes à cause de leur trop grande épaisseur en leur milieu, n'existe pas ici, car l'élément parabolique de la partie centrale des câbles ou chaînes étant presque une ligne droite, il suffit que le tablier soit élevé d'environ $0^m,50$ au-dessus de lui pour que les poutrelles puissent y reposer sur une partie assez longue du pont.

Je ne fus pas forcé heureusement de plaider longtemps pour l'adoption d'une pareille gare, et après un plus mûr examen, le conseil des ponts et chaussées décida que le tablier du pont de la Roche-Bernard aurait une largeur suffisante pour que deux voitures pussent s'y croiser facilement.

On hésita également sur la question de l'établissement de deux trottoirs pour accompagner la voie charretière. Les trottoirs, dans les grandes villes, sont indispensables, et leur suppression pourrait causer de nombreux accidents. Dans les localités comme la Roche-Bernard, où un petit nombre de personnes se trouvent à la fois sur le pont, il eût été possible de se borner à établir une voie charretière de 5 mètres de largeur avec un simple garde-grève de $0^m,25$ de chaque côté, qui eût suffi pour empêcher les moyeux des voitures d'accrocher les garde-corps, et qui eût pu à la rigueur servir de refuge à un piéton serré de trop près par elles ; cette disposition eût diminué les dépenses d'environ 40,000 francs, et eût rendu la voie charretière plus commode pour les voitures. Cependant une voie de $4^m,80$, telle qu'on l'a adoptée, et deux petits trottoirs de $0^m,60$, me paraissent une combinaison assez heureuse et surtout plus agréable à l'œil.

En présentant mes divers projets au Conseil des ponts et chaussées, je lui avais proposé de construire mes câbles sur place, en me servant des portiques comme métiers ; cette idée ne fut pas accueillie par lui, il la

le pilier du milieu ; mais cette disposition, qui augmente beaucoup le cube des maçonneries, est loin d'être économique.

(1) Si la hauteur du tablier, comme il arrive sur les rivières navigables, est déterminée, cette diminution n'existe pas ; la dernière partie de mon raisonnement ne s'applique qu'aux ponts établis sur les cours d'eau non navigables.

Digitized by Google

considéra même comme inexécutable et romanesque ; je crois nécessaire de la développer ici, car je l'ai mise en partie à exécution, si ce n'est pour les câbles de suspension, au moins pour ceux d'amarre dont je décrirai la fabrication plus tard.

Lorsque mes portiques auraient été construits, j'aurais établi à leur sommet une petite passerelle de $0^m,60$ de largeur seulement, et dont le plancher eût été parallèle, à une distance d'environ 1 mètre en contrebas, à la ligne de courbure des câbles (*voyez* Pl. VII, *fig.* 1). J'avais d'abord projeté un plancher en forme d'escalier, et cette disposition était essentiellement mauvaise; mais ce défaut était facile à corriger et n'influe en rien sur le système. Cette passerelle FGHK établie, un homme placé en L aurait fait tourner la bobine chargée du fil de fer, dont la première extrémité aurait été attachée à un point fixe M; un autre homme *h*, placé sur le portique H, aurait saisi avec un crochet le fil double L *h* M, et en le laissant glisser sur ce crochet, fait en forme de petite poulie pour ne pas le ployer, l'aurait transporté ainsi en traversant la passerelle (*la bobine* L *tournant toujours*) jusqu'au portique G; un troisième homme *h'*, placé en dehors de ce portique, aurait encore attiré le fil avec un crochet jusqu'à la croupière placée sur une poupée fixe, et l'y aurait enroulé.

Avant de faire cet enroulement, on aurait exécuté les tensions préalables et constantes : au reste, pour ces détails on devra consulter le chapitre VII où je décris la fabrication des câbles d'amarre ; je n'en donnerai pas ici de plus grands pour ne pas me répéter.

On voit que de cette manière deux fils auraient été placés sur la croupière de la rive G.

Un autre homme *h''* aurait porté le fil double, la bobine tournant toujours, à la croupière fixe de la rive H, et placée en arrière du point K, et l'y aurait également enroulé; par ce moyen on aurait pu arranger tous les fils en un seul, en deux, ou enfin en autant de câbles qu'on aurait voulu sur la même tête du pont. Cependant, je pense que, pour n'avoir pas de tension trop considérable sur les poupées, et pour la facilité et la solidité de l'assemblage, il eût toujours été bon de donner à ces câbles un assez grand nombre de têtes, ou, si l'on veut, de les fabriquer par éléments ou faisceaux.

Lorsque cinquante fils environ auraient été passés, j'aurais placé à cheval, sur ce premier faisceau, une gorge en bois NOP, *fig.* 4, destinée principale-

Digitized by Google

ment à empêcher les fils de se mêler quand ils auraient été agités par le vent, et dont les extrémités inférieures N et P eussent été assez pesantes pour que cette gorge ne tournât pas sur le câble, elle eût eu intérieurement le même diamètre que lui; cette gorge ainsi placée, aurait encore servi à déterminer la flèche de tous les autres fils qu'on aurait passés de la même manière que les premiers, en ayant soin de les faire toucher seulement, et non soulever le faisceau des fils passés avant eux, ce dont on aurait pu s'assurer à la main. Au reste, un homme intelligent aurait été chargé exclusivement du soin de veiller au placement des fils dans cette gorge (1).

On voit que de cette manière tous les fils eussent immédiatement occupé toutes leurs positions définitives et affecté toutes les formes et courbures qu'ils auraient dû prendre.

Je viens ici d'avance au-devant d'une objection qu'on ne manquera pas d'élever, c'est qu'il serait bien difficile de donner exactement à tous ces fils une flèche telle qu'ils ne fissent que toucher les fils précédents dans le fond de la gorge, et qu'il pourrait arriver enfin que les flèches ne fussent pas parfaitement égales.

Je m'empresse d'avouer que l'objection est fondée; mais examinons la grandeur du mal que cela produirait.

Je crois faire une large part à l'imperfection de l'exécution, en admettant que certains fils, soit en pressant trop fortement ceux placés avant eux, soit en ne les touchant pas assez bien, aient une tendance à prendre une flèche qui diffère de $0^m,025$ de celle qu'ils devraient avoir.

Sur un câble de plus de 300 mètres d'une croupière de câble d'amarre à l'autre, avec l'ouverture du pont de la Roche-Bernard et sa flèche, ces $0^m,025$ correspondent à une longueur d'arc de moins d'un $0^m,005$, les fils les plus courts auraient donc $0^m,005$ de moins de longueur que les plus longs, c'est-à-dire qu'ils devraient s'allonger de cette quantité sous la charge, avant que les plus longs travaillassent.

Sous une tension de 2 kilogrammes par millimètre quarré de section, un fil d'un mètre de longueur s'allonge de $0^m,0001$; cela fait pour 300 mètres un allongement total de $0^m,03$; $0^m,005$ d'allongement seulement correspondent donc à un travail de $0^k,33$ par millimètre quarré de section.

(1) Quand les câbles d'une tête du pont auraient été fabriqués, on aurait transporté facilement la passerelle sur l'autre.

Digitized by Google

Ne croirait-on pas être arrivé à la perfection de la fabrication des câbles, si l'on était certain qu'il n'existe que cette différence entre le travail des fils dont ils sont composés ?

Il est facile de juger par le calcul ci-dessus, que le moyen que je proposais a l'avantage d'être non-seulement facile et économique, puisqu'il évite les frais de pose, mais qu'il résout encore autant que possible le problème d'égalité de tension.

Il en présente encore un autre qui frappera principalement les ingénieurs qui ont eu occasion de poser des câbles en fils de fer, c'est qu'il évite les torsions des fils, leur rupture, la formation des cosses, enfin les frottements qui les dépouillent de leur vernis quand on les transporte du métier à la place qu'ils doivent occuper (1).

Un des principaux motifs sur lesquels la commission se fonda pour rejeter sans discussion ma proposition, fut la difficulté d'établir une passerelle solide entre deux points aussi éloignés que devaient l'être les sommets de mes portiques, dans une vallée autant exposée aux ouragans que l'est celle de la Vilaine ; cependant j'ai construit plus tard, comme on le verra par la suite, cette passerelle avec succès, pour le passage des ouvriers et des outils d'une rive à l'autre. J'expliquerai, dans le chapitre qui la concerne, les moyens que j'ai employés pour la rendre peu oscillante.

Je suis tellement persuadé de la bonté de ce système de fabrication, j'ai tellement la conviction que dans quelques années on ne fabriquera pas de câbles de ponts suspendus autrement (2), que je ne puis m'empêcher de faire voir ici combien j'ai insisté pour que le Conseil des ponts et chaussées me permît d'en faire l'essai. Dans un rapport que je lui pré-

(1) En adoptant mon système d'amarre on aurait pu fabriquer en même temps les câbles des deux têtes, qui n'en eussent plus formé qu'un seul ; mais alors il eût fallu employer deux passerelles.

(2) M. Chaley, dont l'opinion a beaucoup d'autorité quand il s'agit de travaux de suspension et dont l'habileté est incontestable, a approuvé mon système et a déjà construit en Suisse, l'année dernière et d'après ces principes, les câbles d'une grande passerelle ; il doit également l'essayer, je crois, au pont du Gotteron ; je suis fâché seulement qu'il songe à le modifier, car les modifications qu'il projette ne me paraissent pas de nature à le perfectionner ; il m'avait même proposé de l'appliquer immédiatement au pont de la Roche-Bernard ; mais il eût fallu, ou fabriquer les câbles à côté des portiques au lieu de les fabriquer dessus, ce qui eût été extrêmement vicieux, vu que les fils n'eussent pas conservé leurs positions, ou attendre que ces portiques fussent terminés, ce qui eût retardé d'une année la livraison du pont à la circulation ; quel que fût mon désir d'essayer mon système, j'ai dû reculer devant ces inconvénients.

Digitized by Google

sentai, le 21 octobre 1834, je m'exprimais ainsi : « J'ai proposé dans mon » projet un système de fabrication de câbles qui n'a pas reçu l'approbation » de la commission. Je ne me rappelle pas qu'elle y ait fait d'autre objec- » tion que la mobilité du pont de service, ou passerelle.

» Je supplierai M. le directeur général et le Conseil d'examiner cette » question avec une sérieuse attention, et de réfléchir qu'il ne faut pas » étouffer une idée, parce qu'elle paraît hardie. Avec cette timidité, on » n'aurait pas adopté le système même des ponts suspendus (1), on l'au- » rait jugé impraticable. Je suppose d'ailleurs que le moyen que je propose » ne soit pas couronné de succès, comme les câbles de mon pont de ser- » vice serviront aux câbles du pont, que les bois du plancher seront ceux » mêmes du pont, un essai infructueux ne coûterait que la dépense de » main-d'œuvre, et je ne pense pas qu'on doive reculer devant une pa- » reille considération pour faire faire un grand pas à l'art de construire » les câbles ; j'attends, au surplus, des réflexions des ingénieurs éclairés » qui forment le Conseil, des améliorations importantes au système que » je propose, système qui, n'ayant pas encore la sanction de l'expérience, » ne peut être regardé que comme un germe qu'il appartient à la science » de féconder. »

Ma proposition ne fut pas même soumise à la délibération du Conseil.

Il ne me reste plus à rendre compte dans ce chapitre, que des études auxquelles je me suis livré sur différents systèmes de poutrelles en fonte, destinées à remplacer les poutres en bois des ponts suspendus.

Les poutrelles en fonte étant beaucoup plus durables, offrent un avantage immense sous ce point de vue ; mais pour que leur emploi soit possible, il faut qu'elles satisfassent à trois conditions ; la première de n'être pas beaucoup plus pesante ; car l'on comprend que l'excès de poids qu'elles donneraient au tablier, augmenterait beaucoup les tensions, ce qui conduirait à augmenter proportionnellement la force des câbles, et souvent celle des maçonneries ; la seconde, de présenter une force calculée de résistance plus considérable pour compenser les défectuosités si communes dans le fer fondu ; la troisième enfin, de ne pas accroître, au moins d'une manière très-notable, le prix du tablier lui-même (2).

(1) On avait rejeté en 1807 le projet du pont sur le Rhin de M. Belu, qui était en effet celui d'un pont suspendu.

(2) J'avais adopté le tiers pour limite de l'augmentation du prix du tablier.

Digitized by Google

J'ai pensé d'abord à une poutrelle semblable au modèle représenté Pl. III, *fig.* 4, et formée de deux plaques de fonte de $0^m,025$ d'épaisseur; ces plaques étaient réunies par des tasseaux fixes fondus avec elles, qui maintenaient leur écartement; elles formaient donc un système de poutres-jumelles, ayant la forme de solides d'égale résistance dans tous leurs points; une pareille poutrelle sans évidement, devant peser environ 650 kilogrammes, au lieu de 380, poids d'une poutrelle de sapin du Nord, il était impossible de songer à l'employer.

Il fallait pour la rendre plus légère y pratiquer des évidements; mais, comme d'une part je diminuais ainsi la force de cette poutrelle, que de l'autre je me défiais beaucoup de la fonte, je songeai à faire concourir à la résistance, le fer dans l'état où il résiste le plus, c'est-à-dire à l'état de fil de fer tiré dans le sens de sa longueur; dans cette intention je formai ma poutrelle en fonte de trois parties, la première centrale AMA' (*voy.* Pl. III, *fig.* 5), se réunissant à charnière en A et A' avec celles des extrémités AN et A'N' auxquelles étaient attachées les tiges de suspension NS, le mouvement pouvant s'opérer autour des pivots A et A'; ces deux parties étaient réunies sur chaque face au moyen d'un câble en fils de fer *cde*; on conçoit alors qu'un poids placé sur la partie du centre AM tendant à faire tourner autour des pivots les parties extrêmes, les câbles inférieurs *cde* devraient se tendre, et en diminuant de courbure venir au secours de la poutrelle en la supportant, et qu'enfin la force qui pèserait sur elle, se changerait en partie en tension longitudinale sur les câbles de secours.

M. Bordillon d'Angers, à qui l'on avait communiqué les détails de ce système, y apporta de son côté un perfectionnement qui consistait à pouvoir tendre préalablement et à volonté les câbles inférieurs, au moyen de deux verrins à écrous *f*; j'adoptai ce perfectionnement, et je fis fondre en conséquence la poutrelle que j'avais le projet d'essayer.

Pour faire cet essai je suspendis cette poutrelle à un échafaud en bois au-dessus d'une fosse destinée à recevoir les plateaux de plusieurs balances attachées aux parties pleines MM, et que je chargeai avec des gueuses en fonte que m'avait fournies l'usine de la Roche-Bernard; j'y plaçai jusqu'à 16,000 kilogrammes sans que la poutrelle rompît; mais par suite de l'allongement des câbles en chanvre auxquels ils étaient suspendus, les plateaux ayant touché le fond de la fosse, je fus forcé de recommencer mon expérience; je suspendis cette fois les plateaux au droit du milieu des évidements; la poutrelle rompit alors sous un poids de 3,000 kilogr.

Digitized by Google

Il résultait pour moi de ces essais, que le système en lui-même pouvait être bon, mais que la forme de la poutrelle, et surtout des évidements, était certainement vicieuse; ce dont on peut se convaincre, au reste, immédiatement. Il eût fallu en faire une nouvelle étude, mais ces essais entraînaient d'assez fortes dépenses; je fus forcé d'ailleurs par des circonstances qu'il est inutile de rappeler ici, de quitter momentanément la direction des travaux du pont; je ne donnai donc aucune suite à mes expériences (1).

Au surplus, si l'on considère 1° que la poutrelle que j'essayais pesait environ 500 kilogrammes, tandis que celles en bois qui sont employées au pont n'ont qu'un poids de 380 à peu près; 2° que la fonte est une matière sur laquelle il est peu prudent de compter, ou reconnaîtra qu'on ne peut conserver de grandes espérances de pouvoir un jour la substituer au bois dans les tabliers des ponts suspendus.

Le savant M. Roche, longtemps employé à l'usine d'Indret, m'a parlé d'un bras de levier en tôle d'une machine à vapeur, qui avait résisté, sans être même faussé, à des efforts considérables capables de briser par traction quatre boulons en fer de $0^m,022$ de diamètre, ce qui correspond à une force d'environ 50,000 kilogrammes; ce bras de levier avait 1 mètre de longueur, et était formé de deux plaques en tôle de $0^m,008$ d'épaisseur, séparées par des cloisons transversales formées de doubles plaques de $0^m,005$ ou $0^m,006$. J'ai fait faire un modèle de poutrelle dans ce système (*voy.* Pl. III, *fig.* 6), je suis parvenu facilement à lui donner la force nécessaire pour le substituer avec avantage, sous ce point de vue, aux poutrelles en bois; mais dans ce cas son poids devient toujours plus considérable, de sorte que par cette raison et par celle d'économie que j'ai citée précédemment, je n'ai pas fait d'expériences en grand de ce système; cependant je persiste à penser qu'il mérite d'être étudié.

Toutes les études préparatoires étant ainsi terminées (2), le Conseil des

(1) Je désirerais beaucoup trouver les moyens d'en faire de nouvelles sur le même système, mais en donnant aux évidements des formes plus rationnelles; je désirerais surtout faire l'essai de poutrelles ayant la forme de tuyaux semblables à ceux qu'a imaginés M. Polonceau pour l'élégant pont du Carrousel.

(2) C'est ici le lieu, pour remplir la promesse que j'ai faite au lecteur dans ma préface, de me confesser d'une faute assez grave que j'ai commise. Les coteaux de la Vilaine, à l'emplacement du pont, offrent des masses de granit feuilleté, dans lesquelles je fis plusieurs tranchées peu profondes, pour m'assurer si j'obtiendrais facilement du moellon propre à bâtir; j'étais tellement persuadé qu'ils en fourniraient avec abondance, que les écorchures que je pratiquai dans le rocher avaient plutôt pour

Digitized by Google

ponts et chaussées put choisir en connaissance de cause le système qui lui paraissait le plus convenable ; il adopta une travée unique de 180 mètres, qu'il porta ensuite à 200 mètres par décision postérieure, avec un tablier de 6 mètres de largeur, composé d'une chaussée à double voie de $4^m,80$, et de deux trottoirs de $0^m,60$; les grands piliers devaient être reliés au rocher des routes, au moyen de trois grandes arcades de chaque côté.

Je n'eus donc plus qu'à m'occuper de la rédaction définitive du projet qui subit encore pendant l'exécution quelques modifications, de sorte que je ne donnerai la description détaillée que de celui qui a été exécuté ; une adjudication définitive eut lieu le 1er juillet 1835, et l'on put s'occuper de commencer les travaux.

but, je l'avoue, de me faire connaître les difficultés d'extraction que la qualité même des pierres ; celles que je tirai de ces fouilles étaient composées de quelques blocs assez bons, mêlés avec beaucoup d'autres de mauvaise qualité ; mais plusieurs bancs présentaient une apparence assez favorable, et comme il arrive, d'ailleurs, presque toujours que c'est en s'enfonçant dans l'intérieur des rochers qu'on obtient les meilleurs matériaux, je n'hésitai pas à indiquer comme carrière de moellons les coteaux voisins.

M. Luczot, qui avait rédigé le premier projet ; MM. Bayard de la Vingtrie et de Vagès, qui l'avaient également étudié avec soin ; M. Seguin, qui avait rédigé lui-même un projet de concession, commirent la même erreur, et cette erreur de leur part contribua à me confirmer dans la mienne, que je n'aurais cependant pas commise si j'avais fait des essais plus sérieux ; mais, d'une part, il eût fallu peut être dépenser cinq ou six mille francs en études préparatoires ; de l'autre, il eût fallu retarder la présentation si désirée du projet ; si je m'accuse avec sincérité, il doit m'être permis de rechercher avec soin toutes les raisons qui tendent à me justifier.

A peine cependant eut-on commencé les grands déblais des routes aux abords du pont, que l'on se convainquit que mes espérances ne se réaliseraient pas, et que l'on fut forcé d'aller chercher au loin d'autres carrières, ce qui entraîna une augmentation de dépense d'environ cinquante mille francs.

Sans doute on s'est peut-être un peu trop pressé, puisque, sur un des points indiqués comme carrière au devis, on a fini par trouver, à une assez grande profondeur, il est vrai, de fort bons matériaux ; sans doute on pouvait atténuer ma faute, en faisant subir au projet quelques modifications qui eussent diminué le cube des maçonneries de moellons, et cela était facile ; mais cette faute ne m'en appartient pas moins tout entière et me servira de sévère leçon à l'avenir, en m'apprenant qu'il vaut mieux retarder de quelques mois la présentation d'un projet, quelque ardemment désiré qu'il soit, que de laisser un détail important non suffisamment étudié.

A ce sujet je ne puis m'empêcher de citer ici une méthode qui m'a assez souvent réussi dans mes recherches de carrières : je commence par reconnaître, autant que possible, dans les coteaux où je les opère, les soulèvements qui paraissent contemporains.

Si un coteau ne me donne que de mauvaises pierres, je suis presque toujours certain que ceux produits par le même soulèvement ne m'en donneront pas de meilleures.

Si au contraire, même à de très-grandes distances de mes travaux, je reconnais une bonne carrière, en suivant le même soulèvement dans les rameaux des montagnes qui se rapprochent des localités où je construis, je retrouve presque toujours la même qualité de pierre.

Cette méthode, dont il me serait bien difficile de prouver la bonté, m'a souvent donné de très-bons résultats, et dernièrement encore, à la Roche-Bernard.

Digitized by Google

CHAPITRE IV.

Description détaillée du pont tel qu'il a été construit. — Grands piliers supports. — Arcades réunissant les grands piliers aux culées. — Cintres des voûtes. — Culées et murs de soutènement y attenant, conduits aux puits d'amarres; piédestaux. — Trottoirs sur les arcades; garde-corps en fer forgé — Chaussées sur le sommet des voûtes des arcades et sur les piliers et culées. — Portiques et cylindres mobiles placés à leur sommet; couverture et moyen d'écoulement des eaux pluviales. — Tablier du pont. — Câbles et tiges de suspension; câbles d'amarres; amarres et galeries d'écoulement

Je ne donnerai pas de description générale du pont; les planches suffiront pour faire connaître les principales dispositions par masses; j'entrerai de suite dans la description détaillée de chacune de ses parties, en y joignant l'histoire de leur construction.

Grands piliers-supports depuis les fondations jusqu'au niveau du tablier sous les portiques.

On a commencé par fixer, au moyen de repères en fer qu'on a scellés dans le rocher, la hauteur des plus hautes marées d'équinoxe; cette opération a été faite en présence et de concert avec une commission nommée par la ville de Redon, et présidée par son sous-préfet.

Le 22 octobre 1835, jour choisi par elle, on a placé sur les rives, à l'emplacement du pont, des poteaux qui devaient être atteints par la marée; des membres de la commission, assistés des ingénieurs et conducteurs, suivaient sur ces poteaux et sur le seuil de la porte de la maison

Digitized by Google

de l'ingénieur, placée près du port, le mouvement des eaux et à la même minute, lorsque la mer a cessé de croître, ils ont fait des marques, soit sur ce seuil, soit sur les poteaux, le niveau desdites marques a été reporté sur les rochers dans lesquels on a scellé les barres de fer dont on vient de parler.

Ce jour-là il régnait un vent de sud-ouest assez violent, qui contribuait à gonfler beaucoup les eaux, de sorte qu'on a la certitude d'être resté plutôt au-dessus qu'au-dessous du niveau des hautes mers d'équinoxe.

Pour fonder les grands piliers-supports sur lesquels reposent les portiques, on a mesuré d'abord la largeur de la rivière; cette opération, qu'on a recommencée plusieurs fois par la suite, pour vérifier les distances des cordons et des faces des portiques, a été exécutée de la manière suivante :

On a établi sur les deux rives deux chevalets A et B (*voy.* Pl. VII, *fig.* 3). Ces chevalets portaient à leurs sommets deux poulies, sur lesquelles on a placé un fil de fer n° 16; à une de ses extrémités on a attaché un poids P de 100 kil.; le fil a roulé sur les poulies jusqu'à ce qu'il ait pris une flèche produisant une tension capable de faire équilibre à celle du poids indiqué ci-dessus; on a marqué avec beaucoup de soin deux points *b* et *b'* à égale distance des deux points de tangence du fil avec les poulies.

On a reporté ensuite cet appareil sur le terrain en reculant les chevalets jusqu'à ce que les deux marques arrivassent aux distances voulues des points de tangence, et l'on a ensuite mesuré la distance horizontale de ces points; c'est ce qui a donné celle existante entre ceux choisis sur les deux rives, et d'après lesquels il a été facile de déterminer ceux où les piliers devaient être fondés, de manière à ce que les faces intérieures de leurs socles fussent distantes de $187^m,18$.

Ce mesurage, recommencé, comme je l'ai déjà dit, pour vérifier la distance entre les portiques, n'a donné que $0^m,05$ de différence avec celui fait sur la passerelle, quand elle a été construite.

L'emplacement des grands piliers-supports arrêté, on a cherché à déraser le rocher pour y établir des redans horizontaux; mais les premiers bancs se sont trouvés soufflés, il a fallu les enlever et examiner les autres avec soin en les frappant fortement, pour pouvoir juger à leur son s'ils n'étaient pas détachés des bancs inférieurs; leur inclinaison très-forte, qui s'approche souvent de la verticale, a offert ensuite un obstacle à l'établissement de redans parfaitement horizontaux dans toutes leurs parties, ce qui pouvait

Digitized by Google

faire craindre que les assises de maçonnerie qu'on devait y établir ne tendissent à glisser : pour parer à cet inconvénient, on a encastré dans ces parties du rocher un grand nombre de goujons en fer, verticaux, enfoncés d'environ 0m,50, et saillant au-dessus de sa surface de la même hauteur; ces goujons sont en fer rond de 0m,05, et sont représentés dans la fig. 6, Pl. VI. Toutes ces opérations préparatoires terminées, on a commencé à établir les premières assises des socles.

On avait commis, en mon absence, la faute de se rapprocher un peu trop des bords de la rivière; cette faute a coûté un peu cher, car, outre le surcroît d'élévation des socles qu'elle a produit, elle a causé de grandes pertes de temps et de grandes difficultés d'exécution : deux fois par jour la Vilaine recouvrait les maçonneries faites et y déposait de 20 à 30 centim. de vase, qu'il fallait enlever au balai et en lavant à grande eau ; on parvint enfin à s'élever au-dessus des marées moyennes, et le travail n'exigea plus que les soins ordinaires.

Les socles sont élevés d'aplomb sur 10m,80 de hauteur sur la rive droite, et sur 11m,69 sur la rive gauche, c'est-à-dire jusqu'à 6m,28 au dessus du repère indiquant les plus hautes marées d'équinoxe. Ils ne sont pas construits en maçonnerie ordinaire sur toute leur hauteur : 5 assises générales horizontales en pierres de taille de 0m,35 d'épaisseur, et destinées à régler le tassement, séparent ces massifs en quatre parties, Pl. IV, *fig.* 1; toutes les pierres de ces assises sont cramponnées, et, dans chaque intervalle d'une assise à l'autre, on a établi 3 armatures en fer forgé, composées de tirants horizontaux se croisant entre eux, et terminés par des croix arrivant à 0m,50 des parements; enfin, ces systèmes de tirants horizontaux sont reliés entre eux par des tirants verticaux qui s'y rattachent au moyen de petites manilles (*voy.* fig. 4 et 5, Pl. V).

La surface du parement est piquée, les angles sont taillés; mais on a eu soin de ne pas donner plus de hauteur d'assise à ces pierres d'angle qu'aux assises de moellons ordinaires, pour éviter les chaînes verticales sur lesquelles s'opèrent des tassements moindres que sur les parties voisines, ce qui peut produire des déchirements et des lézardes.

En général, dans tous les piliers et portiques qui n'ont que des efforts verticaux à supporter, on a multiplié les chaînes horizontales, et évité avec le soin le plus scrupuleux les chaînes verticales et tout ce qui pouvait produire un effet analogue, afin d'égaliser autant que possible les tassements.

Digitized by Google

Le dessus des socles ayant 10^{m},50 de largeur sur 15^{m},40 de longueur, est couronné d'une assise générale en pierre de taille, semblable à celles indiquées ci-dessus, en retraite de 0^{m},20 dans tous les sens; sur ces socles, on a établi les piliers proprement dits avec une inclinaison du douzième de leur hauteur; cette hauteur, jusqu'au niveau des naissances des voûtes des arcades, est de 18^{m},94; ils s'élèvent encore de 6^{m},33 jusqu'au-dessous de l'assise supérieure en pierre de taille formant le tore : leur hauteur totale entre les socles et cette assise est donc de 25^{m},27; leur largeur et longueur au sommet de 5^{m},89 et 10^{m},79, Pl. IV, *fig.* 1.

Sur toute la hauteur de ces piliers on a établi 11 assises horizontales en pierres de taille, sans compter celle du tore qui les couronne; de ces 11 assises, 6 seulement sont générales, les 5 autres ne sont qu'en parement; mais comme les pierres en sont cramponnées entre elles, elles forment des ceintures qui cerclent la maçonnerie ordinaire entre deux assises générales.

Ces assises ont toutes 0^{m},35 de hauteur, excepté celle qui correspond au niveau des naissances des voûtes des arcades, et qui devait avoir la dimension des cordons des piédroits, c'est-à-dire 0^{m},45.

On a pris les mêmes soins en général pour ces piliers que pour les socles sur lesquels ils reposent, mais on a supprimé comme inutiles les armatures en fer entre les assises inférieures pour les multiplier et les renforcer entre les 4 assises supérieures, et il est facile de justifier cette disposition : si un pilier devait se fendre par le poids supplémentaire du portique, c'est par la tête qu'il s'ouvrirait, c'est-à-dire de haut en bas, et non pas de bas en haut; c'est donc la tête qu'il importait de consolider.

Une circonstance dépendante du degré d'avancement des travaux, m'a forcé de prendre une précaution nouvelle dans les parties supérieures. Au commencement de la campagne de 1838 j'avais encore à élever trois hauteurs d'assises (1), et j'avais immédiatement à placer sur ces maçonneries fraîches les portiques en pierres de taille, dont le poids est d'environ 1,500,000 kil. Cette circonstance me donnait des inquiétudes d'autant plus graves que les portiques ne devaient peser sur les maçonneries que par leurs piédroits, et que la partie sous la voûte ne devait porter aucun poids;

(1) J'appelle *hauteur d'assise* la distance entre une assise horizontale en pierre de taille et la suivante; cette hauteur varie entre 2^{m},05 et 2^{m},30.

Digitized by Google

de là, la crainte de tassements inégaux, presque nuls sous la voûte et très-considérables sous lesdits piédroits.

Pour éviter autant que possible toute cause d'accident, j'employai deux moyens : le premier consista à substituer dans mon dernier mortier, pour les trois dernières assises, la chaux de Doué, qui coûte plus cher que celle de Cambon, dont on s'était servi jusqu'alors, mais qui prend corps avec bien plus de rapidité (1); le second fut de n'employer que des pierres plates, que je fis en outre piquer pour leur donner des lits réguliers, pour toutes les maçonneries qui devaient être placées sous les piédroits des portiques.

Ces précautions m'ont réussi et mes maçonneries n'ont pas présenté la moindre apparence de tassement ni de lézardes; un seul joint entre deux pierres de taille d'une assise générale qui m'avait inquiété d'abord, a été reconnu, en l'examinant avec la plus scrupuleuse attention, n'avoir paru s'être un peu ouvert que parce que tout le mortier qui le remplissait

(1) La qualité des mortiers a dû m'occuper beaucoup dans la construction de piliers aussi élevés que ceux du pont de la Roche-Bernard, et j'ai dû faire de nombreuses expériences pour la constater.

Le devis prescrivait à l'entrepreneur de faire d'avance de grands approvisionnements de sable et d'en étaler les masses pour que les pluies de l'hiver, en les lavant, pussent emporter tout le sel marin dont il était imprégné; j'avais porté la rigueur des précautions jusqu'à réserver à l'ingénieur le droit de refuser toute masse dont quelques litres bouillis dans un chaudron plein d'eau douce rendraient cette eau un peu saumâtre; je croyais que l'introduction du sel marin dans les mortiers les détériore.

Cependant, d'une part, les mauvais temps, qui rendaient impraticable l'embouchure de la rivière où l'on s'approvisionnait de sable, et qui ne permirent pas de faire des approvisionnements assez considérables; de l'autre, la grande masse de maçonnerie que nous exécutions chaque jour, me forcèrent d'employer du sable qui n'était pas parfaitement dessalé.

Pour m'assurer de l'effet du sel marin sur les mortiers, je fis, le même jour, avec de la chaux prise dans le même bassin, des cubes de mortier, en y employant le sable parfaitement dessalé, celui très-salé nouvellement extrait; enfin je fis éteindre de la chaux avec de l'eau très-salée de la rivière, au moment de la haute mer; je n'ai pu reconnaître aucune différence de qualité dans aucun de mes cubes. C'est donc, à mon avis, une erreur, et une erreur très coûteuse à l'État, que celle qui interdit, dans la fabrication des mortiers, les sables salés.

J'ai fait aussi beaucoup d'expériences sur les proportions de chaux et de sable à employer : celle de trois parties de sable contre une de chaux, que quelques ingénieurs ont adoptée; celle de deux et demi sur un, que m'avait proposée M. Olivier, fournisseur de chaux de Doué, m'ont toujours donné de mauvais résultats; et toutes les constructions où l'on a suivi la première et que j'ai eu occasion de visiter, m'ont encore confirmé dans l'opinion qu'il faut au moins une partie de chaux contre deux de sable, avec les sables moyennement gros; qu'il faut augmenter la quantité de chaux quand le sable est très-fin, et que, s'il est permis de la diminuer un peu, ce n'est que lorsque le sable est très-gros. Dans le mortier très-fin employé aux rejointoiements, j'ai fait mettre autant de chaux que de sable, et les maçons se plaignaient souvent qu'il n'était pas assez gras.

Digitized by Google

d'abord était tombé en se desséchant, ce qui arrive très-souvent d'ailleurs dans les maçonneries de pierres de taille (1).

Le sommet des piliers est couronné d'une assise générale, formant tore, de $0^m,55$ d'épaisseur.

Arcades réunissant les grands piliers aux culées.

A mesure qu'on construisait les grands piliers, on élevait en même temps les piédroits des arcades, y compris ceux adjacents auxdits grands piliers et aux culées (Pl. IV, *fig.* 1. Pl. VI, *fig.* 1 et 2). Leurs fondations ont été établies également sur le rocher qu'on a décrasé en forme de redans en enlevant préalablement avec soin tous les bancs soufflés.

Les arcades sont au nombre de trois de chaque côté, et de $9^m,50$ d'ouverture chacune; j'avais proposé de leur donner des ouvertures un peu inégales, c'est-à-dire de porter à 10 mètres celle de la plus élevée près du grand pilier, de laisser à celle du milieu $9^m,50$, et de réduire à 9 mètres l'ouverture de celle attenante aux culées; j'avais donné pour motif de cette inégalité, celle très-notable des hauteurs qui devait faire paraître les arcades d'autant plus étroites qu'elles seraient plus élevées. Le conseil des ponts et chaussées n'a pas adopté mon avis, et je le regrette, car il arrive, en effet, qu'on croit actuellement les ouvertures des arcades inégales, justement parce qu'elles sont égales (2).

Les deux piédroits intermédiaires de ces arcades ont une épaisseur de

(1) Ce malheureux joint, ainsi qu'un autre à l'extérieur du tore, m'ont donné cependant bien des inquiétudes; ils étaient placés dans des endroits où il était très-difficile d'arriver; je n'ai été parfaitement satisfait que lorsque j'ai pu les examiner de près, au risque de me précipiter dans la rivière.

Ce qui aurait dû me rassurer sur-le-champ, c'est qu'il n'existait aucune trace de lézardes dans les joints des assises supérieures et inférieures; mais, quand on exécute un grand travail qui présente quelques chances d'insuccès, tout inquiète, souvent sans raison; j'avoue qu'il m'est arrivé plus d'une fois de me lever la nuit au bruit de l'explosion des mines des galeries, croyant ne pas reconnaître leur bruit ordinaire, et je n'étais tout à fait rassuré que lorsque j'avais fait une visite générale, quelque temps qu'il fît, pour m'assurer que rien ne s'était écroulé.

(2) Je me suis convaincu chaque jour de plus en plus que, dans des ouvrages de dimensions gigantesques comme le pont de la Roche-Bernard, il ne faut pas juger de l'harmonie des proportions sur les dessins géométraux, mais en perspective et de loin, de manière à les mettre à l'effet, comme les peintures des décorations de théâtre; trompé souvent par les dessins sur une petite échelle, j'avais pris le parti de faire des panneaux de grandeur naturelle, et je les regardais de loin. Les illusions d'optique, dans l'ensemble des grandes lignes, sont extrêmement remarquables : les maçonneries du pont de la Roche-Bernard en présentent de frappantes.

Digitized by Google

3m,55, et une longueur au niveau des naissances de 8m,6; leur parement du côté des voûtes est vertical, celui des têtes partage l'inclinaison générale du douzième; leurs têtes sont couronnées d'une assise générale en pierres de taille de 0m,45 de hauteur, formant cordon saillant de 0m,15; toutes les pierres de ces assises générales sont cramponnées entre elles.

Les piédroits adjacents aux grands piliers ont une épaisseur à la base de 2m,25 qui s'augmente de tout le fruit du pilier, et s'élève par conséquent à 3m,83 au niveau des naissances des voûtes.

Ceux adjacents aux culées ont une épaisseur de 6m,46 au niveau de ces naissances.

L'assise générale qui couronne les piédroits intermédiaires, règne également dans ceux adjacents aux piliers et aux culées, et forme ainsi cordon saillant de 0m,15.

Les voûtes sont en plein cintre, leurs angles sont en pierre de taille, et portent sur leurs têtes des bandeaux saillants de 0m,07 et de 0m,45 de largeur; ces têtes participent au talus général.

Le dessus du cerveau des voûtes, garni d'une chape en mortier hydraulique de 0m,075 d'épaisseur, forme un système de plans inclinés qui amène toutes les eaux pluviales à des tuyaux en fonte verticaux qui traversent les voûtes; toutes les pierres qui avoisinent ces tuyaux sont rejointoyées en ciment de Vassy.

Les eaux qui pénètrent à travers l'empierrement arrivent par la chape à ces tuyaux d'écoulement, et s'y introduisent par des ouvertures latérales fermées d'une grille; les tuyaux se prolongeant verticalement jusqu'à la hauteur du ruisseau de l'empierrement, sous les trottoirs, reçoivent ainsi par deux ouvertures distinctes les eaux qui s'y rendent de deux côtés différents.

Sur les têtes on a établi deux murs de tympans de 0m,85 de hauteur, couronnés par une assise en pierre de taille saillante de 0m,10, et formant cordon; cette assise faisant fonction de trottoirs aux abords des portiques, j'en parlerai plus tard.

Cintres des voûtes.

La figure 1re de la planche VI donne le détail des cintres, qui n'ont rien de remarquable, et je n'en parle ici que pour raconter un accident grave qui leur est arrivé pendant la construction des voûtes, et qui m'a donné pendant quelques jours de grandes inquiétudes.

Digitized by Google

Avant qu'on eût commencé la pose des claveaux, ceux de la rive droite avaient déjà été enlevés par un coup de vent du nord-onest, mais il avait été facile de les reposer en remplaçant les pièces brisées.

Le 18 avril 1838, lorsque les cinq premiers rangs de claveaux (1) de tête reposaient déjà sur les cintres, un nonveau coup de vent, également du nord-ouest (2), fit déverser les trois cintres de la rive gauche de manière à ce que leurs sommets inclinaient vers l'aval de $0^m,13$.

Mon embarras fut grand dans ce moment, je l'avoue; continuer les voûtes sur de pareils cintres, c'était s'exposer, si le déversement complet s'opérait, à les voir s'écrouler entièrement; les démolir pour rétablir les cintres, c'était compromettre le succès de la campagne: je me déterminai à employer un expédient que je vais décrire.

Après avoir redressé les fermes, autant que possible, en chassant de petites jambes de force en forme de coins entre les grands poinçons, et des tasseaux cloués sur les tirants horizontaux des fermes voisines, j'appliquai aux deux côtés de chaque ferme, et de manière à les embrasser, deux arbalétriers *ae*; je reliai ces arbalétriers au moyen d'un tirant *ee* que je prolongeai de manière à ce que ses extrémités entrassent dans la maçonnerie qu'on devait élever; ces fermes supplémentaires furent boulonnées entre elles et avec les anciennes avec le plus grand soin; je pensai que le poids du cerveau des voûtes devant reposer entièrement sur elles, le mouvement des anciennes ne pourrait plus se continuer.

Aussitôt que ces dispositions furent prises, je me hâtai de fermer les voûtes en repérant la position des fermes presque chaque jour; aucun nouveau mouvement ne s'est manifesté.

Culées et murs de soutènement y attenant; conduits aux puits d'amarre; piédestaux.

Les culées forment derrière les piédroits des arcades qui leur sont adjacents, des massifs de $10^m,40$ de largeur et d'une hauteur variable d'après le profil du rocher; elles se prolongent en murs de soutènement qui leur servent comme de contre-forts, et qui suivent l'alignement de leur face antérieure vers l'amont et des arcs de cercle de raccordement avec les murs de soutènement des routes à l'aval; leurs talus sont dans tous les sens du douzième.

(1) Un claveau de tête correspond à deux rangs de claveaux d'intérieur des voûtes.

(2) Ce coup de vent renversa plusieurs hommes sur la route, aux abords.

Digitized by Google

Ces massifs, qui ont conservé le nom de culées, en faisaient réellement fonction dans mon premier projet, puisque l'inflexion des câbles devait s'opérer dans leur intérieur au point *b* (*voy.* pl. V, *fig.* 6), et la résultante des deux forces de tension et de résistance des amarres devait avoir pour direction la ligne *bx*.

En cours d'exécution j'ai changé cette disposition; j'ai prolongé le câble *ab* jusqu'en *d* dans le rocher, et c'est à ce dernier point que s'est opéré le changement de direction; la résultante s'est trouvée reportée en *dg*, et c'est le rocher *fgh* qui est devenu la véritable culée.

J'ai recueilli de grands avantages de ce changement, d'une part la solidité y a gagné d'une manière presque infinie, puisque la résistance du rocher sur lequel la résultante des efforts s'appuie est incalculable, tandis qu'elle eût reposé, d'après ma première idée, sur une plus ou moins bonne exécution des maçonneries, ce qui est toujours un peu problématique, quelque soin qu'on apporte à la surveiller; d'autre part, j'y ai trouvé une économie très-considérable, car ce qui formait culée n'étant plus que la réunion de trois murs de soutènement ordinaires, j'ai pu ne donner à ces derniers que les épaisseurs nécessaires pour soutenir les remblais placés derrière eux; enfin j'ai pu employer à leur construction les moellons les moins chers, et du simple mortier à chaux grasse, au lieu de mortier hydraulique de la première qualité.

Les culées sont couronnées d'une tablette *ce*, *fig.* 7, en prolongement de celles qui forment trottoirs sur les arcades; sur cette tablette reposent quatre piédestaux portant des bases et des corniches d'ordre ionique, et ayant $3^m,10$ de hauteur, $7^m,50$ de longueur et $2^m,24$ d'épaisseur.

Le dessus de ces piédestaux, dont les parements seulement sur $0^m,40$ sont en pierre de taille, est recouvert de grandes dalles de pierre dont les joints ont été ouverts sur $0^m,02$ de largeur et $0^m,01$ de profondeur; ces rainures ont été remplies de ciment de Vassy, afin d'empêcher les eaux pluviales de s'y introduire.

Les piédestaux qui reçoivent les câbles de suspension, forment à leur intérieur des chambres qui se prolongent en couloirs où passent les câbles, dans les culées et derrière les murs de soutènement; ces couloirs vont rejoindre les puits d'amarre dont il sera parlé plus bas (*voyez* même planche, *fig.* 6 et 8): des portes latérales ont été pratiquées dans chaque culée en A, B, A' et B (*voyez* pl. IV et V, *fig.* 1, 6, 7 et 8), et donnant

Digitized by Google

accès par d'autres couloirs latéraux à ceux dont on vient de donner la description.

Enfin, dans les faces verticales des piédroits adjacents aux culées, on a établi d'autres portes P (Pl. IV et VII, *fig.* 1re), qui conduisent à travers lesdites culées aux galeries souterraines PR, creusées dans le rocher, et qui communiquent aux puits d'amarre R.

Ces galeries sont fermées au moyen de grilles dont les détails sont représentés (Pl. IV, *fig.* 6); les impostes sont fixes, la partie carrée seule est mobile et roule au moyen de roulettes en cuivre sur des bandes de fer circulaires encastrées dans un pavé inférieur en maçonnerie.

A partir des piédestaux, des bornes semblables à celles qui seront décrites à l'article : Routes aux abords, ont été placées dans les tablettes des murs de soutènement.

Comme il existe entre les murs de soutènement un grand remblai sur le rocher formant voûte des galeries souterraines, on a établi entre le rocher et le remblai un massif de maçonnerie ordinaire de peu d'épaisseur, sur lequel on a pratiqué des plans inclinés conduisant les eaux d'infiltration à une gargouille en fer fondu qui traverse le parement sur la face amont du pont.

Enfin, le dessus des voûtes des couloirs où passent les câbles est garni d'une chape en mortier hydraulique de 0m,075 d'épaisseur : comme ces chapes exécutées en novembre et décembre, ont été percées par les eaux, je les ai fait recouvrir pendant l'été de 1840 d'une couche de bitume ou asphalte factice, composé comme je l'ai indiqué dans les *Annales des ponts et chaussées*.

Trottoirs sur les arcades, garde-corps en fer forgé.

Ainsi qu'on l'a déjà dit, les tympans des arcades sont couronnés par de grandes tablettes formant cordon (Pl. V, *fig.* 7 et 8); ces tablettes qui sont rendues solidaires entre elles au moyen de clefs en fer *fff* encastrées de 0m,10 dans leurs faces de joints verticaux, ont 0m,60 de largeur à leur sommet y compris leur saillie; j'ai appliqué contre leurs queues un autre rang de pierres de taille de 0m,30 de largeur, ce qui donne à cette tablette la largeur totale de 0m,90, et m'a permis de leur faire remplir les fonctions de trottoirs, en élevant leur niveau à 0m,10 au-dessus du ruisseau de la chaussée dans les parties les plus basses. Pour éviter les écornures de ce dernier rang de pierres, on a arrondi leurs arêtes sur 0m,03 de largeur.

Digitized by Google

Sans doute il eût été plus riche de faire toute la largeur de la tablette d'un seul morceau, trois raisons m'en ont empêché : 1° j'avais des pierres de 0m,30 que j'étais forcé de payer à l'entrepreneur ; 2° des pierres d'un mètre y compris les saillies sont des morceaux de sujétion difficiles à trouver ; 3° quand ces deux premières raisons n'eussent pas existé, j'aurais encore adopté le même parti par la considération que si quelque pierre se trouve brisée par le choc d'une voiture, ce ne sera qu'une de celles du second rang très-facile à remplacer, et les grandes pierres de tablettes qui sont des morceaux de choix, et dont le remplacement n'est possible qu'en les déplaçant toutes à cause des clefs en fer, dont j'ai parlé plus haut, seront toujours ménagées.

Mais, pour que ces tablettes fissent trottoirs, il était indispensable d'y placer des garde-corps ; ceux que j'ai adoptés sont en fer forgé, et affleurent l'arête extérieure des tablettes, de sorte qu'ils ne diminuent pas la largeur des trottoirs (*voy.* Pl. V, *fig.* 1 et 5) ; ils sont composés d'une suite de montants de 0m,04 d'équarissage *efg* coudés en *f* et en *g*, de manière à ce que la première partie du coude soit encastrée horizontalement dans la tablette dont elle affleure le parement et la seconde verticalement ; ces montants sont espacés d'un mètre de milieu en milieu, ils sont reliés entre eux par une lisse inférieure *ii*, et par une lisse supérieure *ss* également de 0m,04 ; la lisse supérieure est recouverte d'une main courante de 0m,005 d'épaisseur et de 0m,05 de largeur, de manière à déborder la lisse supérieure de 0m,005 de chaque côté ; enfin, entre les montants sont placés des croisillons de 0m,03 carrés seulement.

Les montants sont contre-buttés de deux en deux par des S (*fig.* 1) scellées à clavettes dans les tablettes.

Ces scellements, ainsi que tous les autres, ont été exécutés en ciment de Vassy, et sont aussi solides que ceux faits avec le plomb (1).

Chaussée sur le sommet des voûtes des arcades et sur les piliers et culées.

Sous les portiques la largeur de la voie n'est que de 4m,80 ; j'ai pavé

(1) J'ai donné, en général, la préférence au ciment de Vassy sur celui de Pouilly, parce qu'il m'a paru durcir davantage et plus vite à l'air ; le dernier serait peut-être préférable, employé sous l'eau ; M. Trotté de la Roche, qui fait un usage presque journalier de ces deux ciments à Brest, m'a paru partager cette opinion ; au surplus, la couleur du ciment de Vassy se rapprochant davantage de celle de la pierre, le rend plus propre aux ouvrages extérieurs.

Quant au ciment Parker, il m'a toujours semblé inférieur en qualité aux deux autres.

Digitized by Google

toute cette largeur, et sur 1 mètre de longueur seulement, eu pavés sur forme de sable; le reste de la partie sous les portiques, et toute celle comprise entre les trottoirs et les piédestaux est en empierrement, sauf deux ruisseaux de 0m,60 de largeur chacun, longeant lesdits trottoirs entre les portiques et les piédestaux, qui sont en petits pavés de 0m,15 de queue, et de 0m,12 carrés en tête placés à bain de mortier de chaux et sable; ces ruisseaux forment des pentes qui conduisent les eaux pluviales à des gargouilles pratiquées sous les trottoirs, et qui correspondent aux grands tuyaux qui traversent les voûtes. Ces gargouilles et tuyaux sont représentés (Pl. VI, *fig.* 3). La largeur de la voie entre les trottoirs est de 5m,40; de petits chasse-roues en pierre sont placés à tous les angles des piédestaux et des portiques.

Portiques et cylindres mobiles placés à leur sommet; couverture et moyen d'écoulement des eaux pluviales.

Toutes les proportions générales des portiques étant prises dans l'ordre ionique, on n'entrera dans aucun détail des moulures qui les décorent, et qui sont d'ailleurs représentées, ainsi que celles des piédestaux, dans la Pl. VI, *fig.* 5.

Ces portiques sont composés de deux piédroits reposant sur l'assise pleine du tore: sur 1m,44 de hauteur ils forment socles ayant 3m,02 de largeur à la base, 2m,95 au-dessus de la petite retraite inférieure *a* (Pl. V, *fig.* 1, et 2m,80) seulement au-dessus de leurs moulures; leur longueur dans le sens du grand axe du pont est de 5m,80, 5m,40 et 5m,10 au-dessus desdites moulures.

Ils conservent les dernières dimensions qu'on vient d'indiquer jusqu'aux naissances, placées à 7m,40 au-dessus de leur pied.

Ils portent auxdites naissances des impostes de 0m,62 de hauteur formant les angles des piédroits.

La voûte en plein cintre de 2m,40 de rayon est décorée sur sa tête, d'une archivolte également de 0m,62 de largeur.

Au-dessus de la voûte, les piédroits continuent à s'élever avec les mêmes dimensions; mais sur leurs faces extérieures ils sont reliés entre eux par deux murs qui donnent aux portiques l'apparence d'être pleins, quoiqu'une chambre soit pratiquée au milieu (*voy. fig.* 4 et 5).

A 0m,92 au-dessus des archivoltes on a placé un cadre de 4m,80 de lar-

Digitized by Google

geur, et de 1m,40 de hauteur destiné à recevoir une inscription (1), si on juge convenable d'en mettre une.

A 0m,92 au-dessus du cadre, règne tout autour des portiques une astragale de 0m,16 de hauteur, et à 0m,63 au-dessus se trouve la corniche de 0m,822 de hauteur et de 0m,795 de saillie.

Enfin au-dessus de la corniche est placée l'attique de 2m,35 de hauteur totale (2), dont 1m,20 au-dessous de l'entrée des câbles, et 0m,30 pour la saillie du cordon supérieur.

La hauteur totale des portiques au-dessus des tores est de 17m,622.

Les portiques sont en pierres de taille pleines; à chaque assise on peut remarquer (*fig.* 3) un système de cramponnage exécuté avec du fer carré de 0m,03, de manière à ce que la partie horizontale des crampons ne soit pas encastrée dans les pierres qu'ils relient, mais dans l'assise supérieure; par ce moyen ces assises sont également reliées entre elles.

Les scellements de ces crampons sont en ciment de Vassy.

Sur toute la hauteur des portiques (*fig.* 4) et dans chaque piédroit, s'élève un tirant vertical en fer carré de 0m,07, dont la base, qui porte une croix, est placée sous l'avant-dernière assise générale horizontale en pierre de taille des grands piliers; enfin ces tirants verticaux sont reliés entre eux au-dessus des voûtes et à leurs sommets par des tirants horizontaux.

Comme ces tirants horizontaux auraient gêné le passage des balances qui montaient les pierres au sommet des portiques, on les a faits de trois pièces; on n'a posé d'abord que les deux premiers *ab* et *cd*. Quand toutes les pierres, les cylindres et tout ce qu'il était nécessaire de faire arriver au sommet des portiques a été monté, on a placé la troisième partie *bc*, portant un anneau double embrassant l'anneau simple des deux premières, et on l'a assemblée avec elles au moyen de clavettes qu'on a fait entrer avec force dans les anneaux.

Pour placer les plaques *bca*, figures 10 et 11, qui devaient recevoir les cylindres mobiles sur lesquels s'appuient les câbles, il a fallu tailler les

(1) Ce cadre est un peu petit; il eût dû avoir au moins cinquante centimètres de plus en hauteur.

(2) Avant de poser l'assise sur laquelle devaient reposer les plaques des cylindres mobiles, on a repéré les hauteurs au niveau à bulle d'air; on a trouvé qu'il fallait diminuer la hauteur d'une assise de la rive droite de cinq centimètres.

Digitized by Google

pierres suivant un appareil particulier, représenté *figure* 10 : dans cet appareil, la grande pierre qui porte le cylindre du milieu, sur lequel le plus grand effort s'exerce, est accotée par les plaques latérales, ce qui est une garantie contre l'écrasement ; quant à celles qui portent ces dernières plaques elles sont elles-mêmes soutenues de tous côtés.

Ces pierres ont été choisies parmi les plus dures et les plus saines, et leurs lits inférieurs, ainsi que ceux supérieurs de l'assise placée au-dessous d'elles, ont été taillés avec autant de soin que les parements, pour éviter tout porte-à-faux qui aurait pu les faire briser.

Malgré cette précaution, malgré le soin qu'on prit de dégauchir la face inférieure des plaques en fonte, cette dernière opération étant d'ailleurs difficile, il était à craindre que ces plaques ne portassent pas exactement sur tous les points ; pour s'en assurer, après les avoir placées provisoirement en repérant leur position pour les y ramener ensuite, on les remuait légèrement puis on les retirait ; les parties de la pierre les plus noircies étant celles qui frottaient davantage on les taillandait un peu ; on continua ces essais jusqu'à ce que toute la surface du lit de la pierre de taille portât partout des traces égales de frottement : enfin une lame de plomb de $0^m,005$ fut interposée entre lesdites pierres de taille et les plaques qui ont $0^m,05$ d'épaisseur en leur milieu.

Les cylindres mobiles placés sur ces plaques ont $0^m,45$ de diamètre extérieur et $1^m,46$ de longueur, sans y comprendre deux petits bords de $0^m,03$ dépassant les plaques : on peut consulter pour les détails, le dessin de ceux d'amarre (Pl. VIII, *fig.* 4).

Ces cylindres ne sont pas pleins, à leur intérieur ; ils ont une forme assez bizarre que le fondeur et moi avons été amenés à leur donner par le raisonnement suivant :

Il ne faut jamais se borner à donner aux pièces de fonte qu'on emploie, les dimensions indiquées par le calcul, pour offrir une résistance qui serait suffisante avec presque toutes les autres matières, parce que la fonte est souvent remplie de soufflures ; cependant pour ne pas lui en donner d'exagérées qui augmenteraient beaucoup la dépense, et surtout les difficultés de pose en augmentant le poids, on a l'habitude de renforcer leurs parties principales, au moyen de côtes nombreuses qui ajoutent à la résistance ce que les soufflures peuvent leur faire perdre.

Mais on a observé que partout où les dimensions d'une pièce de fonte changent brusquement, il s'y forme souvent des fentes et des soufflures,

Digitized by Google

quelquefois même elles s'y cassent par le simple refroidissement.

Cela est facile à expliquer, par la différence des temps que ces diverses parties exigent pour se refroidir, et par les retraits différents qui s'y opèrent successivement et non simultanément, comme cela serait à désirer, aux endroits où elles se réunissent.

On peut donc établir comme préceptes d'après tout ce qui précède, qu'il faut éviter autant que possible les changements brusques de dimension dans une pièce de fonte, et que cependant il faut renforcer les parties principales par des renflements.

Je crois avoir satisfait à ces deux préceptes par la forme intérieure que j'ai donnée à mes cylindres; les renflements y sont très-forts, et cependant l'épaisseur ne s'accroît que peu à peu de manière à ne pas présenter de changement brusque de dimension.

En considérant même les parties les plus épaisses comme parfaitement solides, on peut dire que les parties les plus faibles s'y appuient en forme de voûte comme sur des culées.

J'ignore si l'on regardera le raisonnement précédent comme bien concluant, et si la forme que j'ai donnée à mes cylindres a contribué à leur solidité, ce qu'il y a de certain c'est qu'ils ont parfaitement résisté.

Dans tous les cas, je crois cette forme bien supérieure à celle qui présente des rayons intérieurs dans lesquels il se déclare presque toujours des fissures.

On peut voir, Pl. V, *fig.* 11, la disposition que j'avais eu d'abord l'intention d'adopter pour les cylindres du côté du pont. Le mouvement principal qui est celui opéré par l'épreuve, et ceux résultant des charges passagères ayant tous lieu de ce côté, c'est-à-dire de *a* en *b*, je voulais empêcher le glissement des cylindres *b* sur leurs plaques, et les forcer, s'il était possible, à reprendre toujours leur position primitive vers le le centre des portiques. Dans cette intention, au lieu d'établir la face inférieure de la plaque *a* dans une position symétrique avec celle de la plaque *b*, je la plaçais presque horizontalement; il est évident que lorsque le câble marche vers le côté *b*, le cylindre *a* tend par son propre poids à retomber vers la droite ou dans sa position primitive. S'il glisse sur sa plaque, le cylindre *c* n'étant sollicité au glissement d'aucun côté revient naturellement à sa première position quand la traction réactionnaire vers le côté *a* a lieu. Quant au cylindre *b* la pression ayant lieu sur

Digitized by Google

une ligne non normale à la surface de la plaque, il tend à tourner un peu sur lui-même, et se trouve ainsi ramené à sa position primitive, et, dans tous les cas, tend d'autant moins à glisser que sa plaque s'approche davantage d'être horizontale.

J'ai cédé à une influence étrangère et j'ai placé les deux plaques *a* et *b* dans des positions parfaitement symétriques, *fig.* 10 : il est arrivé de là que pendant l'épreuve, les cylindres *b* ont un peu glissé sur les plaques et inégalement de l'amont à l'aval; ils ne sont pas maintenant parfaitement d'équerre aux têtes du pont, de sorte que leurs mouvement d'oscillation sont un peu gênés et que les câbles intérieurs sont un peu plus bas qu'ils ne devraient l'être; ce défaut est bien peu grave, mais il eût mieux valu qu'il n'existât pas.

Les portiques sont reconverts d'une toiture (*fig.* 10) formée d'un plancher en volige, recouvert d'ardoises de zinc à crochet, et soutenu par de simples arbalétriers en bois de sapin ; sur leurs côtés sont placés des châssis dits à tabatière, *t* et *t'*, qu'on peut enlever lorsqu'on veut entrer sous le toit pour vérifier l'état des câbles dans l'intérieur des portiques; au pourtour de ce toit règne une gouttière en plomb *gg'*, qui reçoit les eaux pluviales; ces eaux se rendent, au moyen de deux tuyaux également en plomb *h* et *h'*, dans un autre tuyau en cuivre KK'K''K''' (*voy. fig.* 2), de $0^m,03$ de diamètre intérieur coudé en K' et en K''. Ce tuyau, dont la paroi a $0^m,005$ d'épaisseur, joue la tige de suspension et diminue ainsi la grandeur de l'espace qui existait entre le parement des portiques et la première véritable tige. Par ce moyen j'ai pu me débarrasser des eaux pluviales qui tombent sur les portiques, sans établir de gargouilles dans l'intérieur des piédroits, ce qui est toujours dangereux, et en évitant de les laisser rejaillir sur les parements, ce qui n'aurait pu avoir lieu sans les salir.

Tablier du pont.

Le tablier du pont (*voy.* Pl. IV, *fig.* 4 et 9) est composé de 175 poutrelles suspendues : la 88e en forme le centre; ces poutrelles, espacées entre elles de $1^m,09$, ont $0^m,42$ de hauteur en leur milieu, réduite à $0^m,37$ près des lougrines intérieures, de manière à donner un bombement transversal de $0^m,05$ au plancher; leurs extrémités, sur $0^m,23$ de longueur, sont coupées en biseau, de manière à ne présenter à l'about qu'une hauteur de $0^m,33$; leur épaisseur est de $0^m,20$, et leur longueur de $6^m,90$.

Digitized by Google

A $0^m,805$ de la première poutrelle suspendue près de chaque portique, est placée une poutrelle muraillère M (Pl. V, *fig.* 2 et 12), de $7^m,20$ de longueur, sur deux doubles barres O en fer carré, de $0^m,07$, qui sortent des piliers et qui encastrent les grands tirants verticaux qui traversent les portiques (*voy.* N, même planche, *fig.* 4). Ces poutrelles muraillères n'ayant pas une assez grande hauteur pour reposer immédiatement sur les barres qui ne pouvaient pas s'élever au-dessus de la base du tore, on a placé entre elles et lesdites barres des tasseaux O de $0^m,23$ de hauteur : ces poutrelles et ces barres sont reliées au moyen de deux étriers qui passent par l'intervalle qui sépare ces dernières, et portent à leurs extrémités taraudées des écrous au moyen desquels on les a fortement serrées.

Le centre des poutrelles muraillères est à $0^m,90$ du parement du portique : à $0^m,25$ en arrière dudit parement, et immédiatement derrière les pierres du tore, dont toutes les queues ont été taillées égales sous les portiques, on a encastré d'autres poutres P (Pl. V, *fig.* 5), ayant le même bombement, qui en forme la partie saillante au-dessus du tore ; ces poutres portent sur leur demi-largeur un renforcis en chêne S, de $0^m,13$, taillé en biseau, qui sert à retenir les extrémités longitudinales du deuxième plancher, qui s'y encastrent suivant le même système décrit plus bas en *m* (Pl. IV, *fig.* 4).

J'ai mieux aimé placer un renforcis que de tailler l'encastrement dans la pièce même, afin de pouvoir changer ce renforcis aussitôt qu'il sera usé, ce qui doit arriver en peu de temps, puisque cette extrémité du tablier sera extrêmement fatiguée par les roues des voitures, à cause de l'abaissement inévitable du pavé qui s'y appuie : c'est la même raison qui m'a déterminé à employer le chêne de préférence, le reste des bois étant en sapin du Nord, sauf le plancher supérieur qui est en peuplier.

Les autres poutrelles sont suspendues à des tiges en fer forgé dont je ne donnerai pas ici la description, qu'on trouvera à l'article *tiges de suspension*, avec celle des étriers et chevalets.

Sur les poutrelles, et à chaque tête du pont, sont placés deux cours de longrines espacées entre elles de milieu en milieu de $0^m,50$ (1) ; celle extérieure à un équarrissage de $0^m,24$ dans tous les sens, celle intérieure de

(1) Cette distance aurait dû être de cinquante-cinq, pour laisser au trottoir une largeur de $0^m,60$; mais j'ai été forcé de la diminuer : les chevalets des tiges placés à la hauteur des garde-corps auraient touché les mains courantes.

Digitized by Google

0m,24 sur 0m,20, et moise les poutrelles de 0m,02, de sorte que la pente des trottoirs est tournée vers le pont : c'est sur ces longrines que sont placées les planches de 0m,04 d'épaisseur qui forment les trottoirs; elles débordent la longrine extérieure de 0m,10 pour tenir lieu de frise, et leurs abouts, sur celle intérieure, sont accotés à une petite planche longitudinale *l*, de 0m,10, qui forme l'arête dudit trottoir.

Entre les longrines intérieures se trouve la voie charretière de 4m,80, ou le plancher proprement dit, composé d'un double cours de madriers, les premiers placés en longueur et de 0m,09 d'épaisseur, laissant entre eux des vides de 0m,035; les seconds posés en travers jointifs, et de 0m,04 d'épaisseur : le dernier madrier longitudinal qui laisse entre sa face latérale et la longrine un espace vide de 0m,04 pour l'écoulement des eaux pluviales, a l'épaisseur des deux cours de madriers, et est taillé en biseau sur la moitié de sa largeur pour encastrer ceux du plancher supérieur (*voyez m*, Pl. IV, *fig.* 4).

Le plancher supérieur seul est cloué au moyen de pointes de Paris sur les madriers inférieurs : ceux-ci, ainsi que les longrines intérieures, sont reliés aux poutrelles au moyen de brides à traverses inférieures, plates et à écrous qui les traversent, mais qui embrassent les poutrelles (*voy. np*, fig. 8 et fig. 4). Sur les longrines extérieures sont placés les garde-corps formés d'une suite de grands boulons fourchus (*fbkd*, fig. 4 et 7) qui percent les longrines seulement et embrassent les poutrelles à la manière des brides en *kk' dd'*. Des croisillons (*gh*, fig. 9) de 0m,10 carrés servent à les maintenir; à leurs sommets ils portent des écrous qui dépassent la pièce inférieure de la main courante, et sont encastrés dans celle supérieure qui les cache (*f*, fig. 4). Le garde-corps ainsi formé est d'une rigidité extrême, et sert à faire faire système aux poutrelles de deux en deux; il a en outre l'avantage d'éviter le percement des poutrelles en aucun point, ce qui était une condition que je m'étais imposée dans l'intérêt de leur conservation, et qui n'a encore été remplie qu'à la Roche-Bernard (1).

La pièce inférieure de la main courante a une hauteur de 0m,20 sur

(1) Les industriels qui adoptent avec empressement tous les procédés qui, en perfectionnant les travaux, sont en même temps économiques, n'ont pas, en général, approuvé celui-ci, parce que les boulons fourchus sont des pièces de sujétion, et qui exigent trois soudures, en *a*, en *b*, et en *c* : le résultat a prouvé que mon idée était bonne.

Digitized by Google

$0^m,14$ de largeur; celle supérieure a $0^m,05$, compris bombement, sur $0^m,16$; il s'ensuit qu'il existe deux saillies formant une espèce de moulure sur les faces verticales des croisillons : on verra plus tard le parti que j'ai tiré de ces saillies.

Je n'ai assujetti les longrines extérieures aux poutrelles muraillères qu'au moyen d'étriers, et j'ai remplacé la partie supérieure des boulons fourchus par deux petits potelets P de $0^m,16$ carrés formant la limite des garde-corps, les mains courantes seules étant prolongées au delà jusqu'à la face des portiques, mais sans les toucher (Pl. V, *fig.* 12).

Pour mettre obstacle au déversement de cette extrémité des garde-corps non reliée aux poutrelles, j'ai placé à côté des potelets des jambes de force en fer de $0^m,03$ carrés *jj*, s'appuyant contre la main courante et sur le prolongement de la poutrelle muraillère.

Le tablier en son milieu a une hauteur de $33^m,20$ (1), au-dessus des plus hautes marées d'équinoxe; cette hauteur se réduit à $31^m,68$ près des portiques : son bombement affecte la forme d'un arc de cercle dont la flèche devait être par conséquent de $1^m,32$.

Pour donner au tablier la forme d'un arc de cercle, les calculs des ordonnées sont plus longs que lorsqu'on lui donne celle d'une parabole renversée; mais cette forme est infiniment plus gracieuse.

Toutes les poutrelles et les longrines ont été peintes à trois couches, sauf les faces inférieures, qui ne le seront que dans un an ou deux : les expériences de M. Paret, de Lyon, que j'ai eu occasion de vérifier, m'ont prouvé qu'il est très-dangereux d'envelopper les bois d'une couche de peinture ou de goudron quand il peut rester encore un peu d'humidité dans leur intérieur; la pourriture s'y développe rapidement. Les poutrelles du pont de Neuville et de la préfecture sur la Saône ont dû être remplacées après cinq ou six années, parce qu'on n'avait pas pris la précaution de donner une issue à l'humidité que la chaleur tend à faire évaporer : par la même raison, je n'ai voulu goudronner la dernière face des bois minces, qui, étant sciés depuis un an, ne devaient plus contenir que l'humidité que l'air extérieur leur avait donnée, qu'à l'époque la plus chaude de l'année, et après un mois au moins de sécheresse.

C'est principalement aux abouts des pièces de bois que la pourriture

(1) Cette hauteur ne devait être que de 33 mètres; mais le tablier en température moyenne a un bombement d'environ $0^m,20$ de plus que je ne l'avais projeté.

Digitized by Google

s'opère rapidement, l'humidité pénétrant par les tubes capillaires qui s'y trouvent ouverts ; j'ai garni chacun de ces abouts d'une boîte que j'ai remplie de mastic huileux : ces boîtes en fonte, auxquelles j'ai d'ailleurs donné la forme de têtes de lion bronzées, ce qui ne m'a pas coûté plus cher et qui les fait servir de décoration, sont percées d'un trou par lequel on pourra introduire de temps en temps de l'huile nouvelle.

Les faces supérieures des bois et toutes celles d'assemblages ont été garnies d'une feuille de papier gondronné : pour appliquer ce papier on mettait d'abord une couche légère de goudron bien chaud sur le bois, et on y plaçait ensuite le papier qu'on avait trempé dans le goudron ; de nombreuses expériences, faites principalement par M. Chaley, ont prouvé que le bois ainsi recouvert se conserve très-longtemps.

J'ai introduit dans tous les vides faits dans les bois par les boulons et les brides, du papier gondronné en tampons, que j'ai fait enfoncer le plus possible ; j'ai ensuite rempli les petites chambres, ainsi formées, avec du brai gras.

Enfin, j'ai remplacé en général la première couche de peinture par une couche d'huile bouillante : on pourrait employer pour cette couche l'huile de baleine, qui coûte moins cher que l'huile de lin.

J'ai voulu essayer si de petites brides en fils de fer sous le pont tendraient à s'opposer à ses oscillations verticales ; pour cela j'ai fait placer dans les piliers des anneaux A (Pl. V, *fig.* 5), auxquels s'attachent mes brides de quatre fils seulement, passant dans des crochets placés sous les poutrelles. Si ces petits câbles eussent produit de l'effet, ils auraient été évidemment cassés pendant les mouvements du pont, et je les aurais remplacés par d'autres plus solides ; mais comme ils sont restés intacts, j'en ai conclu qu'ils ne leur avaient opposé aucune résistance.

Ce n'est qu'après l'épreuve que j'ai placé la partie supérieure de la main courante ; déjà le garde-corps avait travaillé pendant cette épreuve, de sorte que les parties inférieures de ladite main courante ne formaient plus des lignes droites ; en faisant saillir plus ou moins la pièce supérieure, j'ai pu redessiner de nouveau des lignes droites qui ne se conserveront pas sans doute parfaitement, mais qui seront moins ondulées que la pièce inférieure, dont les assemblages ont été fortement tourmentés pendant l'épreuve du pont.

Digitized by Google

Câbles et tiges de suspension.

Les câbles auxquels le tablier est suspendu sont au nombre de deux à chaque tête du pont; chacun d'eux est formé de seize faisceaux ou éléments de quatre-vingt-huit fils (1); le nombre total des fils est donc de 5,632.

Les différents faisceaux qui forment ces câbles ne restent pas unis dans toute leur longueur; ils se séparent à leur entrée dans les portiques en s'épanouissant sur les cylindres mobiles; ils se réunissent en en sortant, et s'épanouissent de nouveau dans l'intérieur des piédestaux et des galeries conduisant aux puits d'amarre, où ils présentent ensemble de chaque côté trente-deux têtes ou ganses, formées par autant de croupières, et qui s'assemblent avec les seize têtes des câbles d'amarre.

M. Vicat, dans sa description du pont d'Argentat, blâme l'épanouissement des fils comme favorisant l'oxydation : je crois, au contraire, qu'il rend plus facile les moyens de conservation. Il est vrai que plus un câble est gros, moins les fils du centre sont exposés au contact de l'air humide; mais la plus petite ouverture suffit pour que l'eau s'introduise dans son intérieur, et il est alors difficile d'en connaître l'état et d'y faire parvenir de l'huile ou de la peinture claire, de manière à être certain que tous les fils en seront recouverts; si, au contraire, l'épanouissement était tel qu'on pût apercevoir tous les fils sans exception, il est évident qu'on pourrait les entretenir constamment recouverts de peinture ou d'huile siccative, qui les mettraient à l'abri de l'oxydation; l'épanouissement n'est pas si complet à la Roche-Bernard, puisqu'il consiste seulement dans la diffusion des éléments ou faisceaux; mais il est évident qu'il est plus facile d'atteindre le centre d'un petit câble de quatre-vingt-huit fils que celui d'un câble de quatorze cent huit.

Les fils des câbles ont été ligaturés bout à bout avec du fil recuit n° 4, au moyen d'un instrument emprunté aux ateliers des ports militaires, et qui consiste en un petit cylindre terminé par deux branches percées de manière à ce qu'on puisse y enfiler une broche qui porte une petite bobine en bois chargée de fil recuit (*voy.* Pl. VIII, *fig.* 8). Pour exécuter une

(1) Le diamètre moyen de ces fils est de 3m,33, ce qui les classe entre les nos 18 et 19; leur résistance moyenne est de 76 kilogrammes par millimètre carré de section.

Digitized by Google

ligature bout à bout avec cet instrument, on fait d'abord avec le bout du fil recuit enroulé sur la bobine, et dont on a soin de reployer l'extrémité afin qu'elle soit recouverte par la ligature, un ou deux tours à la main sur les fils qu'on veut réunir ; on lui fait faire ensuite un autre tour sur le petit cylindre *ab*, où de petites dents *c* l'empêchent de courir librement ; puis on place la broche *dc*, portant la bobine *f*, dans les deux trous qui doivent la recevoir : en donnant à l'instrument un mouvement de rotation autour du fil n° 18, et laissant la bobine *f* tourner dans la main, la ligature s'exécute avec rapidité, et le fil *cr* est tellement serré que, lorsqu'on regarde la ligature comme assez longue (1), il suffit d'arrêter le mouvement de la petite bobine dans la main, en faisant toujours tourner l'instrument pour que ce fil se casse et s'applique avec tant de force sur celui n° 18, qu'on a de la peine à retrouver son extrémité.

Les ligatures voisines des ganses des faisceaux, et celles des parties qui devaient reposer sur les cylindres mobiles, ont été exécutées avec une main de fer plus grande, mais faite dans le même système que la précédente.

Celles des gros câbles sont en fil recuit n° 10, et ont été faites à la main seulement, ces câbles étant trop voisins l'un de l'autre pour permettre l'emploi de l'instrument; il ne serait pas impossible d'en composer un qui pût servir dans une pareille position, les ligatures seraient plus parfaites.

La longueur de chacune de ces dernières ligatures est d'à peu près $0^m,30$, il y en a une entre deux tiges de suspension ; un peu plus du quart de la longueur totale des câbles en est donc recouvert.

Les câbles de suspension affectent, du côté du pont, la forme d'arcs paraboliques de $15^m,20$ de flèche, comme la distance horizontale entre les origines de ces arcs est de $195^m,50$, le rapport entre cette corde est donc exprimé par la fraction $\frac{1}{12,86}$, c'est-à-dire un peu moins d'un treizième (2).

(1) Je faisais donner à ces ligatures une longueur de huit à dix centimètres.

(2) Ce rapport est un des plus satisfaisants ; il contribue à la rigidité sans employer une grande partie de la force du fil à résister à la tension produite par son propre poids.

Cette tension est d'environ, sous les flèches, de :

$\frac{1}{12}$ de $\frac{1}{35}$ de la force du fil.

$\frac{1}{13}$ de $\frac{1}{27}$ de id.

Digitized by Google

Pour qu'il fût possible de vérifier l'état de la partie des câbles placés sur les cylindres mobiles des portiques, j'ai fait construire des échelles dont les montants sont en fils de fer et les traverses en fer forgé, et qui s'attachent à des crochets scellés dans l'avant-dernière assise des attiques. Comme ces échelles devront se reployer et rester ordinairement sur les sommets des portiques, il sera nécessaire qu'un homme aille les déroulier et s'assurer qu'elles sont toujours solidement attachées; il faudra donc qu'il trouve un moyen, si non commode, au moins très-praticable de monter sur les portiques sans avoir besoin d'elles. Pour parvenir à ce résultat, j'ai réuni les deux câbles de retenue amont de chaque rive, par de petites traverses en fil de fer espacées de $0^m,30$ entre elles, et qui forment ainsi une seconde échelle fixe dont les câbles sont les montants; l'inclinaison un peu grande de ces câbles rend la montée peu commode, elle n'est cependant pas trop difficile.

Pour que tous les passants ne puissent pas se servir de cette échelle, j'ai placé la dernière traverse à 6 mètres au-dessus du trottoir; de sorte qu'on n'y peut parvenir qu'au moyen d'une échelle en bois appliquée contre les câbles.

Je ne parlerai pas ici des précautions que j'ai dû prendre pour poser ces câbles sans les détériorer, on peut consulter à ce sujet le chapitre 7; il me suffira de dire ici qu'avant de les peindre, j'ai fait pénétrer dans leur intérieur de l'huile siccative; pour cela, je les faisais entr'ouvrir au moyen d'une pointe de Paris qu'on y enfonçait à coups de marteau, je faisais ensuite couler dans l'ouverture de l'huile en assez grande quantité pour qu'elle les traversât tout à fait : cette huile était destinée à remplacer le vernis enlevé pendant la pose; ils ont été peints après cette opération d'une couche de peinture à la céruse un peu claire, et ensuite garnis

---

$\frac{1}{20}$	de	$\frac{1}{19}$	de la force du fil.		
$\frac{1}{25}$	de	$\frac{1}{15}$	de	id.	
$\frac{1}{30}$	de	$\frac{1}{13}$	de	id.	
$\frac{1}{40}$	de	$\frac{1}{9}$ à $\frac{1}{10}$	de	id.	

Ainsi, à un quarantième de flèche, près du neuvième de la force d'un fil est employé à résister à sa propre tension; tandis que $\frac{1}{25}$ seulement de cette force est nécessaire avec une flèche de $\frac{1}{10}$.

Ce calcul prouve combien les dépenses augmentent quand on diminue beaucoup les flèches.

Digitized by Google

d'une couche de peinture enduit, dont je donnerai la composition dans le chapitre 10; comme cet enduit n'est pas d'une teinte blanche très-brillante, mais tire un peu sur le jaune, j'ai fait passer dessus une nouvelle couche de peinture à la céruse.

L'enduit enveloppe les câbles comme dans un étui, et comme il ne devient jamais assez dur, au moins pendant de longues anuées, pour se fendre, j'espère qu'il ne s'introduira pas la plus petite goutte d'eau dans leur intérieur.

L'expérience que j'avais faite sur la passerelle provisoire m'ayant appris qu'un pont est d'autant plus rigide, que les mouvements de son tablier et ceux des câbles sont plus solidaires, j'ai dû employer pour tiges, des barres en fer forgé au lieu de faisceaux en fils de fer; ces derniers ont d'ailleurs toujours l'inconvénient d'être tortueux, et cela ne tient pas, comme quelques personnes le croient, à ce qu'ils ne portent pas très-également; mais la force nécessaire pour tendre un fil, n° 18, en ligne droite, étant égale à peu près à la moitié de celle qui peut le faire rompre, il n'est pas étonnant que les trois ou quatre kilogrammes par millimètre carré de section que les tiges portent, ne suffisent pas pour les redresser; les tiges en fer forgé sont donc plus élégantes, en même temps qu'elles augmentent la rigidité du pont.

Ces tiges au pont de la Roche-Bernard sont en fer rond de $0^m,03$ de diamètre; pour m'assurer que le fer en était doux (1), je ployais les plus longues jusqu'à en faire rentrer les deux bouts; comme elles ne pouvaient être exécutées d'un seul morceau, j'ai fait renfler un peu les soudures qui réunissent leurs parties, pour leur donner plus de force dans l'endroit où elles sont plus sujettes à casser.

Ces tiges ne sont pas verticales; les centres de suspension étant éloignés de $7^m,60$ près des portiques et de $6^m,80$ seulement au centre du pont, les quatre surfaces gauches que décrivent les tiges donnent à la suspension la forme d'un berceau d'un aspect élégant, et cette forme contribue encore beaucoup à mettre obstacle aux oscillations horizontales.

Les tiges portent à leurs extrémités deux anneaux tournés en sens contraires; dans celui supérieur s'enfilent les chevalets qui reposent sur les

(1) Lorsque le fer des tiges n'est pas très-doux, les mouvements du pont les brisent souvent : cela est arrivé à plusieurs ponts de Lyon; celui de la Roche-Bernard a déjà eu à supporter les ouragans de l'hiver et de l'équinoxe de 1840, et aucune tige n'a éprouvé la moindre altération, même dans les soudures.

Digitized by Google

câbles, et dont la forme est indiquée dans la Pl. IV, *fig.* 2 et 4; le diamètre de ces chevalets est de $0^m,04$; j'ai dû adopter cette augmentation de diamètre, pour compenser la perte de force, qu'ils éprouvent, soit par le ploiement du fer, soit par leur forme peu favorable à la résistance; malgré cette précaution, comme je craignais que les branches de ces chevalets ne s'ouvrissent sous le poids d'épreuve, je les ai fait relier entre elles avec du fil de fer recuit (*voyez fig.* 2 et 4); des petits mentonnets s'opposent à ce que ces ligatures puissent s'échapper (1).

Dans les anneaux inférieurs sont enfilés les étriers qui soutiennent les poutrelles, *fig.* 3; elles portent à leurs extrémités des parties taraudées de $0^m,20$ elles ont $0^m,03$ de diamètre; les traverses inférieures *u t* sont en fer carré de $0^m,04$.

J'avais donné une longueur de $0^m,20$ aux parties taraudées, afin qu'on pût à volonté relever ou abaisser les poutrelles en cas d'erreur, soit de calcul, soit d'exécution; j'ai eu le bonheur assez rare, les écrous une fois placés au milieu de la partie taraudée, de n'avoir pas besoin d'en faire tourner un seul, même d'un millimètre, la courbure du plancher s'est dessinée parfaite, immédiatement.

Au centre du pont, le calcul donnait pour les tiges de suspension des longueurs qui ne s'élevaient pas même à $0^m,01$; ne pouvant employer de tiges semblables, j'ai allongé les étriers progressivement de *ut* en *x* jusqu'à ce que la longueur de la tige fût de $0^m,45$, alors les étriers ont repris leur longueur constante de $0^m,80$.

(1) Les chevalets reposent immédiatement sur les câbles, c'est une faute; en effet, pendant les grands vents les courbes qu'affectent les câbles changent de forme; elles passent successivement de celle ABCDE à celle A'B'C'D'E' (*voy.* Planche 7, *fig.* 11), ce qui produit un mouvement de translation que ne peuvent partager les chevalets fixés à l'extrémité des brides qui remplacent les tiges au milieu du pont, il s'ensuit que ces chevalets parcourent un espace d'environ six centimètres sur les câbles à chaque oscillation du pont.

Ce n'est pas parce qu'il use les fils que ce mouvement est à redouter, mais parce qu'il enlève le vernis et donne ainsi à l'eau pluviale les moyens de pénétrer dans l'intérieur des câbles; j'aurais dû placer sous les chevalets de petites lames de zinc sur lesquelles les chevalets eussent pu glisser.

Pour remédier au défaut que je viens de signaler, j'ai donné l'ordre au piqueur chargé de l'entretien du pont, d'introduire, dans les parties des câbles sur lesquelles les chevalets frottent, une grande quantité d'huile lithargée dans une proportion d'une partie de litharge contre quarante d'huile; les expériences que j'ai faites à cet égard m'ont démontré que cette huile remplit parfaitement, en se séchant, tous les vides qui se trouvent entre les fils.

Je lui ai prescrit également de profiter, après cette première précaution prise, des mouvements d'oscillation pour glisser des lames de zinc sous les chevalets; cette opération, qui n'est à faire que pour une vingtaine d'entre eux, n'est pas très difficile

Digitized by Google

Pour éviter le glissement des chevalets, et par conséquent des tiges sur les câbles, j'ai introduit sous les ligatures (excepté celles du milieu du pont), de petites lames de fer feuillard reconrbées (*voyez* Pl. IV, *fig.* 5).

Près des portiques où les câbles s'épanouissent (1), je n'ai pas pn faire usage de ces lames, mais j'ai attaché les derniers chevalets aux plaques des cylindres en fonte, au moyen de petites cordelles en fils de fer.

Amarres et galeries d'écoulement.

Le système d'amarres du pont de la Roche-Bernard est la partie la plus intéressante de cette grande construction, celle qui est établie snr de meilleurs principes, et c'est là cependant que l'on rencontre le plus de détails vicienx, c'est là où j'ai commis le plus de fantes; cette espèce de contradiction est facile à expliquer; j'ai employé un procédé nouveau, bien supérieur, selon moi, à tout ce qniavait été fait jusqu'à présent en ce genre; mais ne ponvant avoir l'expérience de mon procédé, je n'ai pu prévoir les imperfections naissant de l'exécution dans les détails. Cette tâche est réservée anx ingénieurs qui ponrront l'adopter par la suite. Au reste, c'est là l'histoire de toutes les inventions quelconques, c'est toujours l'inventeur qui fait le plus mal.

Tel qu'il est, mon système d'amarres a cependant reçu l'approbation des principaux constructeurs qui l'ont examiné.

Je n'y suis pas arrivé tout d'un coup, il s'en faut : j'avais d'abord projeté, comme au pont de Fribourg, des puits au fond desquels j'anrais amarré mes câbles, an moyen de barres passées dans lenrs ganses, en appuyant ces barres contre des voûtes en pierre de taille renversées et contre-butées sur le rocher. Pour faciliter l'écoulement des eaux de sonrces, on aurait uni la partie inférieure de ces pnits par une galerie transversale, à laquelle on serait arrivé au moyen d'une autre galerie percée dans l'axe longitudinal de la culée (*voyez* PQ et P'Q', Pl. IV, *fig.* 1 (2).

J'ai déjà dit que la nature et l'inclinaison des bancs de rocher avaient donné beaucoup de peine pour établir les redans des fondations; ces bancs s'enlevaient sur de très-grandes longueurs à la fois, sans qu'on pût les couper en travers: cela fit craindre que les puits ne prissent un évase-

(1) Pour resserrer les câbles en cet endroit j'ai employé des brides de fer à deux branches et à écrous.

(2) Ces galeries ont été exécutées et ont servi à mon système d'amarres.

Digitized by Google

ment considérable (1). Un procédé, dont on avait déjà fait quelques heureuses applications, fut d'ailleurs proposé, et l'on s'empressa de l'adopter, sans trop réfléchir à ses inconvénients dans la localité (2).

On pratiqua dans le rocher, aux points où les câbles devaient y pénétrer, deux trous verticaux XY et X'Y' (Pl. X, *fig.* 2), suivant la méthode de forage des puits artésiens. Ces trous arrivant jusqu'à la galerie horizontale d'écoulement avaient 0m,27 de diamètre, et étaient assez larges par conséquent, pour contenir les câbles d'amarre qui n'en devaient avoir que 0m,16; des barres ou anceres passées dans la ganse de ces câbles, et s'appuyant sur le rocher à l'orifice inférieur des trous, devaient former l'amarrage, les voûtes renversées du système précédent devenaient donc inutiles, c'était le rocher lui-même qui les remplaçait : il est évident que ce système augmentait les garanties de solidité sous ce dernier point de vue, et paraissait en conséquence assez satisfaisant. Le travail à exécuter devant être assez long, on se hâta de l'entreprendre.

Le percement présenta des difficultés plus grandes qu'on ne l'avait prévu; la roche était si dure, qu'il fallait changer de trépans deux ou trois fois par jour, et leurs tiges cassaient souvent; le travail avançant lentement (souvent on ne parvenait qu'à s'enfoncer de 0m,03 dans la journée), il fallut organiser un service de nuit (3) fort coûteux; les eaux pluviales et de sources, qui ne trouvaient pas encore d'écoulement dans les puits, les inondaient et exigeaient de fréquents épuisements; cependant je parvins à percer les quatre trous sur chaque rive sur la profondeur de 8 mètres qui existait entre l'origine des trous et la galerie transversale, en dépensant une somme d'environ 20,000 francs (4).

Mais à mesure que les travaux s'avançaient, des doutes, qui, je dois

(1) Ces craintes n'ont pas été justifiées; au-dessous du troisième ou quatrième banc, on a donné aux excavations la forme désirée; cette difficulté n'a existé que pour les écorchures faites dans le rocher.

(2) Ce ne fut pas moi qui proposai et adoptai d'abord ce procédé, mais l'ayant approuvé ensuite sans aucune restriction, j'en dois prendre entièrement la responsabilité sur mon compte.

(3) Voici comment j'avais organisé mon service pour le percement des galeries souterraines et des puits : deux brigades étaient attachées à un puits ou à une galerie; la première commençait à six heures du matin et travaillait jusqu'à midi, la seconde prenait à midi jusqu'à six heures du soir, la première recommençait à six heures jusqu'à minuit, la seconde revenait enfin à minuit jusqu'à six heures du matin. Le dimanche on se reposait pendant deux quarts, cela donnait aux brigades le moyen de changer leurs heures entre elles.

(4) On peut voir au chapitre 7, et sur la planche 10, *fig.* 1 et 2, la manière dont ces trous furent percés.

Digitized by Google

l'avouer, auraient dû se présenter à moi plus tôt, vinrent assiéger mon esprit.

Dans les puits ordinaires les câbles pénètrent en éléments séparés, ou au moins en se subdivisant en plusieurs câbles ou chaînes qui, par conséquent n'ont que des croupières peu larges; chaque barre ou ancre d'amarre a donc peu de longueur, et n'a à résister qu'à une petite fraction de la tension totale. Ici, il ne pouvait exister que deux câbles de chaque côté d'une culée, les bras de levier des ancres passés dans les grosses ganses de ces câbles auraient eu une longueur égale au diamètre des trous, ou $0^m,27$ (1). Pour que ces barres présentassent une résistance égale à celle d'une section quelconque des câbles, il fallait qu'elles eussent une épaisseur d'environ $0^m,75$, ce qui eût rendu les ganses difficiles à exécuter, et eût été très-incommode pour la pose des câbles.

Chacun des quatre câbles d'amarre sur chaque rive, devant être composé de 1408 fils (en supposant qu'on ne voulût pas leur donner un peu plus de force qu'à ceux de suspension, ce qui est toujours prudent), il fallait établir pour les fabriquer, un métier tel que ses poupées pussent résister, sans céder le moins du monde, à des efforts de 140,000 kilogrammes, ou au moins à 70,000 kilogrammes, si on réduisait la tension de fabrication à moitié : cela n'était pas très-facile.

En étudiant les meilleurs moyens d'introduire ces câbles tout faits dans les trous, j'avais remarqué que leurs croupières auraient eu une largeur tellement grande qu'on aurait été forcé d'en reployer les joues, car la section d'introduction se réduisait réellement au carré inscrit dans le trou circulaire. Or, cette forme était difficile à conserver; et si les joues se fussent redressées pendant la fabrication, je pouvais me trouver très-embarrassé; les faisceaux des câbles de suspension se fabriquaient alors, et quoiqu'ils ne fussent composés que de 88 fils, il m'avait été presque impossible, quand ils étaient détendus, de redresser les inflexions qui se

(1) Dans les grands ponts où un grand nombre de fils de fer sont employés, il faut avoir un grand égard à cette considération. Il est très-difficile d'amorrer entre eux de gros câbles, parce que leurs croupières ayant une grande largeur, les bras de levier des boulons, ancres ou goujons, comme on voudra les appeler, au moyen desquels ils s'assemblent, augmentent considérablement, et alors il faut leur donner des épaisseurs très-considérables, ces ancres étant placées dans la position la plus défavorable pour résister, c'est-à-dire en porte-à-faux; c'est ce qui m'a déterminé à assembler les câbles de suspension et d'amarre par éléments.

Ces difficultés n'existent pas dans les petits ponts.

Digitized by Google

formaient à leurs têtes près des croupières ; qu'eût donc été la roideur de ces inflexions à des têtes de câbles de 1408 fils ? Ces têtes de câbles se seraient certainement présentées de travers, de là des difficultés peut-être insurmontables pour leur introduction (1).

Enfin, quand les trous furent percés, je m'aperçus que les eaux s'y rendaient de tous côtés, avec une telle abondance, qu'ils ressemblaient à des tuyaux de conduite (2). On pouvait, il est vrai, entourer chaque câble d'un étui de zinc, et introduire de la chaux grasse dans cet étui, mais ce moyen présentait plusieurs inconvénients.

L'étui eût dû avoir plusieurs coudes, et l'on ne pouvait réparer ses soudures une fois qu'il eût été placé, il eût été difficile de lui faire envelopper parfaitement les ancres et les ganses des croupières. Or, si l'eau s'était introduite en plus ou moins grande quantité dans une partie quelconque du tuyau, elle pouvait mettre les câbles à nu ; dans tous les cas, on ne se réservait aucun moyen d'inspection de ces câbles, ce qui pouvait donner des inquiétudes graves.

Toutes ces considérations ne me permirent plus d'hésiter, et je pris le parti radical de considérer comme non avenus mes travaux de forage, et d'en revenir aux grands puits ordinaires ; j'avais au moins acquis la certitude que ce travail n'offrait pas d'autre difficulté que la dureté de la roche, et que les parois de ces puits resteraient parfaitement verticales (3).

Cependant c'était pour moi une pensée amère, que celle de revenir à un système que j'avais rejeté d'abord : à force de réfléchir il me vint

(1) On dira peut-être que ces deux dernières difficultés n'existaient que parce que les trous n'avaient pas un diamètre assez considérable ; j'avoue que si leur ouverture eut été de 0m,36 ou 0m,40 au lieu de 0m,27, l'introduction des câbles eût été plus facile ; mais c'est le diamètre déjà trop grand de 0m,27 qui avait rendu le percement si difficile ; 0m,10 de plus eussent peut-être doublé la dépense ; une dimension encore plus considérable pouvait rendre le percement impossible, car les difficultés croissent dans un rapport plus grand que celui des diamètres ; enfin, les barres d'amarre enfilées dans les grandes croupières eussent eu une plus grande longueur de bras de levier ; de là la nécessité d'augmenter encore leur épaisseur déjà si incommode.

(2) On verra plus bas qu'une partie de cette eau s'infiltrait à travers les parois du rocher, et que ce sont ces infiltrations que j'étais loin de prévoir si abondantes, qui m'ont donné tant de peine et qui m'ont forcé à recourir à plusieurs moyens pour m'en débarrasser par la suite.

(3) Je ne parle pas ici du projet que j'eus un moment de construire les câbles d'amarre sur place, au moyen d'un fil sans fin, enfilé alternativement dans chaque trou ; la paroi de séparation des deux trous eût servi d'amarre : dans cette hypothèse les difficultés de construction des câbles et de leur introduction étaient évitées ; mais il restait l'inconvénient, plus grave encore que dans l'ancien système, de ne pouvoir éloigner parfaitement l'eau des câbles dans les trous.

Digitized by Google

une idée nouvelle que j'exécutai de la manière suivante (*voyez* Pl. VIII, *fig.* 1, 2 et 3).

Je creusai, en effet, mes puits verticaux; mes faisceaux d'amarre, après avoir changé de direction, en s'appuyant sur des cylindres *efg*, descendent verticalement dans les puits en se réunissant en un seul faisceau; ils changent de nouveau de direction, et deviennent horizontaux en s'appuyant sur des coussinets K*l* portant des gorges circulaires capables de les contenir, ils redeviennent ensuite verticaux en changeant de nouveau leur direction sur les coussinets l' K'; ils s'épanouissent encore dans la partie supérieure du second puits vertical, et après s'être appuyés sur les cylindres *g f e'*; ils se réunissent aux câbles de suspension de l'autre tête en *a b*.

Ce système offre les avantages suivants :

1° La solidité des amarres ne repose plus sur celle de voûtes renversées ou d'ancres en fer de plus ou moins bonne qualité; c'est la masse du rocher comprise entre les puits, et qui est embrassée tout entière par les câbles qui résiste à la traction;

2° On n'a pas besoin d'employer de moyen factice de conservation, tel que l'introduction de la chaux vive, moyen qui est toujours un peu problématique, car si je m'en fie à des expériences en petit que j'ai faites, les fils se conservent bien, à la vérité, dans le massif de chaux grasse, mais l'eau que contient cette chaux remontant dans les pores du fer, comme dans des tubes capillaires à la sortie des massifs, oxyde plus rapidement ces parties que si les fils n'y avaient pas été plongés; tandis que dans mon système, on peut en tout temps, chaque jour, si on le juge convenable, visiter les câbles d'amarre sur tout leur développement, y introduire de l'huile et les recouvrir de peinture ou d'enduit à volonté, toutes les fois qu'on y remarque les plus légères traces d'oxydation (1).

3° Enfin, il m'a donné plus de facilité pour la fabrication de mes câbles en place, comme je le dirai plus tard, méthode parfaite selon moi, puis-

(1) Pour creuser mes puits verticaux, j'aurais toujours été forcé probablement de forer un petit trou vertical, qui aurait conduit dans la galerie souterraine les eaux pluviales et de sources qui sans cela auraient rempli les excavations commencées; ceux qui avaient été faits m'ont par conséquent beaucoup facilité l'exécution de ces puits; mais il suffisait à chaque amarre d'un petit trou de 0m,06 ou 0m,08 qui aurait exigé peu de dépense, les difficultés de forage, ainsi que je l'ai déjà dit, croissant très-rapidement avec l'augmentation du diamètre du trou à percer.

Digitized by Google

qu'en assurant l'égalité de tension des fils, elle produit une grande économie dans les dépenses.

Je me laisse peut-être séduire ici par la prévention qu'on a toujours pour un procédé dont on est l'auteur, mais il me semble que mon système ne laisse rien à désirer; il peut même s'appliquer aux ponts où les amarres sont placées dans des massifs de maçonnerie, mieux encore qu'à ceux où ces amarres sont dans le roc; car, dans ce cas, il rend les deux culées solidaires, et il fait participer à la résistance jusqu'aux remblais qui les séparent; les puits et les galeries, dans ce cas, peuvent d'ailleurs être plus commodément exécutés que dans le rocher, et il est plus facile de les maintenir parfaitement à l'abri de toute humidité.

Mais ici, je dois l'avouer, il s'en faut que les détails d'exécution à la Roche-Bernard, participent de la perfection du système.

Les puits ne sont pas assez larges; et comme les eaux qui jaillissent de leurs parois, en rencontrant leurs inégalités, retombaient sur les câbles, j'ai été forcé de revêtir ces parois d'un contre-mur peu épais cependant, mais qui a rendu le passage tellement étroit, que dans un de ces puits un homme mince, seul, peut s'y introduire; cette difficulté n'ôte pas la possibilité d'examiner l'état des câbles, mais elle oblige à un examen plus minutieux et plus attentif. Or, il ne faut jamais beaucoup compter sur l'attention des personnes, surtout d'une classe inférieure, chargées d'un entretien quelconque.

Les maçonneries de revêtement sont en pierres sèches près du rocher, afin que les eaux de sources puissent trouver un écoulement jusqu'au fond des puits, et en mortier hydraulique du côté de leur intérieur; comme elles ont été exécutées en automne, elles ont été percées par les eaux en divers endroits, à cause de leur peu d'épaisseur; cela m'a forcé de les recouvrir d'un enduit général en ciment de Vassy, qui m'a coûté un peu cher.

Pour empêcher les eaux d'arriver jusqu'à mes câbles, si elles parvenaient à percer les enduits, j'aurais dû isoler parfaitement mes coussinets du rocher en les plaçant sur des pierres de taille saillantes; à défaut de cette précaution, j'ai dû augmenter beaucoup l'épaisseur de la maçonnerie en ciment près des coussinets, ce qui est cause qu'elle touche presque aux câbles dans quelques endroits: cela rend l'inspection et l'entretien plus difficiles.

Enfin, mes coussinets ont une mauvaise forme; ou ils eussent dû être

Digitized by Google

mobiles sur des plaques, comme on le voit *fig. 7*, ou avoir une position telle qu'ils partageassent en deux parties égales, l'angle formé par les deux directions *ck* et *kl* du câble, ou enfin porter à leur base un large empatement qui eût assuré leur stabilité.

J'avais calculé leur épaisseur de manière à ce que la résultante des efforts exercés suivant les deux directions *ck* et *kl* des câbles qui s'y appuient, ne sortît pas de leur pied, mais je n'avais pas songé que les fils ne pourraient pas glisser dans les gorges, et que lorsque l'on placerait le pont, le mouvement de traction tendrait à faire tourner ces coussinets sur leur base; ce mouvement, quoique très-peu considérable, a eu lieu. Pour en détruire les effets, j'ai enfermé les coussinets entre des barres de fer *n*, et j'ai placé sur les barres supérieures, des pièces en fontes *o*, appuyées elles-mêmes par des goujons en fer *p*, soutenus par des arcs-boutants *q*; ce qui m'a déterminé à employer ces pièces de fonte, c'est la crainte que l'un des coussinets ne se brisât pendant l'épreuve; dans cette hypothèse le câble se fût appuyé sur la pièce en fonte et aucun mouvement sensible n'eût eu lieu dans la courbe des câbles.

Ce détail, comme on le voit, est extrêmement mauvais; et de simples coussinets, d'une meilleure forme, appuyés comme je l'ai déjà dit, sur des pierres de taille, dans des puits de 1^{m},50 carré de largeur, auraient rendu mon système parfait.

Tout défectueux qu'il soit, il n'en est pas moins vrai qu'on peut actuellement visiter chaque jour mes câbles d'amarre, qu'il ne se dépose sur ces câbles que l'humidité de l'air des puits, et pendant les grandes chaleurs seulement, car à 15 degrés de température et au-dessous, mes puits sont parfaitement secs, et ce n'est qu'un léger inconvénient, puisqu'une épaisse couche de mon enduit, qu'on peut d'ailleurs entretenir facilement, les rend impénétrables à l'eau.

Pour descendre dans ces puits, on se sert d'échelles en fils de fer qui restent accrochées aux voûtes; enfin, en ouvrant les portes des galeries latérales, et les soupiraux des piédestaux, on y produit des courants d'air qui les dessèchent.

Cependant, d'une part, le regret d'avoir entaché par de mauvais détails (1) un système d'amarrage qui me paraît excellent; de l'autre,

(1) J'espère qu'on reconnaîtra que je tiens ma promesse d'avouer mes fautes!

Digitized by Google

le désir de préparer des moyens faciles de changer les câbles d'amarre lorsqu'ils auront éprouvé les détériorations que le temps apporte à tous les ouvrages des hommes, m'ont engagé à entreprendre un travail supplémentaire à ceux de construction du pont et dont je vais rendre compte ici (1). (*Voyez* Pl. XI, *fig.* 11 et 12.)

abcd et *a'b'c'd'* représentent les conduits actuels aux puits d'amarre dont l'ouverture est indiquée par les lettres *cdef* et *c'd'e'f'*. On voit sur la figure les trois cylindres au moyen desquels les câbles actuels s'infléchissent pour descendre par les puits dans la galerie horizontale inférieure *ghik*; *l* et *l* représentent les coussinets horizontaux sur lesquels ces câbles s'appuient aujourd'hui au fond des puits.

Je fais ouvrir une galerie ascendante *mn*, partant de l'intérieur de la galerie actuelle *ghik* (ce travail n'est pas même aperçu du public), cette galerie se retournera ensuite à droite et à gauche en *nopq* et *n'o'p'q'*, de manière à venir rejoindre en *ef* et *e'f'* les puits d'amarre actuels.

Cela posé, je suppose qu'on veuille changer les câbles d'amarre : après avoir attaché très-fortement un des assemblages de réunion placés en *rs* et en *r's'*, au moyen d'une chaîne portant un verrin à vis et écrou placé entre deux pontres établies en travers des galeries de conduite et encastrées dans le rocher, on reconstruira sur place, par la méthode que j'ai déjà employée, et en prenant pour poupées les boulons mêmes enfilés dans les têtes des câbles de suspension, un élément des nouveaux câbles d'amarre, en le maintenant dans une position un peu moins inclinée que l'ancienne, pour qu'il ne s'appuie pas sur les cylindres qu'on devra enlever ensuite; cet élément ce posera sur un coussinet horizontal à gorge, semblable à celui vertical représenté PP, *fig.* 12, et placé à l'entrée de la nouvelle galerie en *tu*; le faisceau, en descendant dans la galerie *fqpo*, qui suivra son inclinaison, ira s'appuyer sur les coussinets verticaux *qpo*, *o'p'q'* *fig.* 11, et PP *fig.* 12.

Il en sera de même pour tous les autres faisceaux qui formeront ainsi une surface gauche horizontale en *tu* et en *t'u'*, et verticale sur tous les autres coussinets; j'ai partagé tous ces éléments en quatre faisceaux sur

(1) Ces travaux, ne pouvant être exécutés que par quatre hommes travaillant à la fois, dureront près de quinze mois; ce ne sera par conséquent pas moi qui les terminerai.

J'espère que M. l'ingénieur en chef du Morbihan, qui sera chargé de les continuer, y mettra le soin et le zèle qu'il a apportés à tous les travaux qu'il a dirigés jusqu'à présent.

Digitized by Google

lesdits coussinets, on conçoit qu'il me serait facile de les réunir en deux ou en un seul faisceau, ou de les partager en un plus grand nombre à volonté ; de cette manière le changement des câbles peut s'opérer élément par élément, sans que le pont cesse d'être livré à la circulation, sans même que le public s'en aperçoive.

S'il fallait changer les câbles de suspension eux-mêmes, il suffirait de défaire les ligatures de ces câbles et de les changer également élément par élément (1).

En construisant mes nouvelles galeries, je prendrai de meilleurs moyens pour mettre leur intérieur parfaitement à l'abri de l'humidité ; mes coussinets *p q o p′ q′ o′*, *t u* et *t′ u′* reposeront sur des pierres de taille qui les isoleront entièrement du rocher; une bonne maçonnerie VVV, *fig.* 11 et *v y x*, *fig.* 12, laissant entre elle et ce rocher un espace vide, empêchera l'eau des sources et de filtration de s'introduire dans les galeries; enfin, si l'on veut pousser les précautions à toutes les limites de la prudence, on peut placer dans les gorges des coussinets PP avant d'y appuyer les câbles, des feuilles de cuivre ou de zinc qu'on fermera ensuite en les soudant et en leur donnant la forme de tuyaux qu'on pourra tenir constamment pleins d'huile : existe-t-il une raison quelconque de croire que des câbles ainsi conservés puissent éprouver la moindre altération dans un siècle ?

Je n'ai pas besoin de dire qu'une fois le système d'amarres changé, on pourra perfectionner l'ancien en plaçant des pierres de taille sous les cylindres et sous les coussinets, dont on changera la forme, et en élargissant les puits à leur base; pour opérer un nouveau changement des câbles d'amarre on pourrait alors revenir au système actuel ainsi perfectionné, et *vice versâ*.

Tout le travail que j'ai commencé ne coûtera pas 10,000 francs, et m'était par conséquent permis, puisqu'il me reste une somme assez considérable sans emploi sur le crédit voté par les chambres.

Au surplus, on remarquera que les galeries nouvelles auront l'avantage immédiat d'assainir les puits actuels, en interceptant les filtrations qui s'y rendent maintenant.

(1) On se rappelle sans doute que chaque grand câble de suspension contient seize éléments, de sorte qu'on n'opérerait à la fois que sur la soixante-quatrième partie des fils composant la suspension, il n'y a donc pas à craindre d'accident causé par la diminution de force desdits câbles pendant cette opération.

Digitized by Google

CHAPITRE V.

Routes de raccordement aux abords du pont.

Je ne dirai que peu de choses des routes de raccordement du pont avec l'ancienne; on peut en voir le tracé sur la planche 1. Sur la plus grande partie de leur développement elles ne présentent que des pentes au-dessous de 0^m03; cependant sur 63 mètres de longueur ces pentes atteignent $0^m,486$ et sur 280 autres mètres $0^m,04$.

L'empierrement étant construit avec des pierres très-dures, je l'ai fait recouvrir d'une couche d'environ $0^m,05$ en pierres tendres, sur laquelle j'ai fait passer un rouleau dont la description sera donnée dans le chapitre VII. Cette opération a produit l'heureux résultat de rendre la route parfaitement roulante dès le premier jour où elle a été livrée à la circulation.

Dans les parties où les remblais un peu élevés, soit en talus, soit soutenus par des murs de soutènement, auraient pu rendre le passage dangereux, j'ai fait placer des banquettes en gazon de $0^m,40$ de hauteur, sur $0^m,50$ de largeur, dans le premier cas, et de petits murets en maçonneries de 0,50 de hauteur sur 0,40 de largeur dans le second.

Aux abords du pont on a établi, sur les murs de soutènement de la route, des bornes reliées par des chaînes; la *fig.* 6, Pl. V, montre suffi-

Digitized by Google

samment toutes les dispositions de ce système, et je n'en parle ici que pour faire connaître une proposition que j'avais soumise, à ce sujet, au conseil des ponts et chaussées qui l'a rejetée.

Je voulais percer mes bornes dans leur partie inférieure *a* et *a'* (*voyez* Pl. XI, *fig.* 13), et y faire passer un câble *a b a'* en fil de fer, que j'aurais relié, au moyen de petites tiges semblables, avec un autre câble *c d c'* qui aurait passé dans les encastrements c et *c'* pratiqués dans les têtes des bornes; ces deux câbles auraient ainsi formé des courbes en sens contraires. Ce système que j'ai essayé avec des poteaux en bois, faisant fonction de bornes, est d'une rigidité extrême, et est très-économique, puisque chaque longueur de 4 mètres entre deux bornes, une d'elles comprise, ne serait revenue qu'à 61 francs, au lieu de 70 francs, comme dans le système actuel (1). Avec des parapets en moellons piqués, chacune de ces longueurs aurait coûté 165 francs.

J'ajouterai qu'il aurait été extrêmement élégant : en peignant les câbles en couleur de la pierre, les arcs auraient ressemblé de loin aux découpures des décorations gothiques; pour que les ligatures bout à bout des fils ne produisissent aucun renflement qui aurait détruit la pureté des lignes, on se serait arrangé pour que toutes ces ligatures se rencontrassent en des points symétriquement placés, sur le sommet des bornes par exemple; des écrous à l'extrémité des câbles auraient servi à les resserrer dans les grandes chaleurs.

Ce système d'arcs reliés entre eux de cette manière, peut être plus fécond en résultats importants qu'il ne le paraît d'abord; un pont suspendu construit de cette manière, coûterait sans doute un peu plus cher, mais serait tellement rigide qu'on pourrait, je n'en doute presque pas, établir dessus un chemin de fer; je n'ai pas besoin de dire que l'un des arcs serait placé sous le tablier, et que pour obvier à l'inconvénient du raccourcissement des câbles qui pourrait faire briser les tiges en hiver, ou à leur allongement qui les distendrait en été, on serait obligé d'établir un système d'écrous qu'on desserrerait ou resserrerait à volonté, et suivant des longueurs calculées et marquées sur les vis, à chaque changement d'environ dix degrés de température. Pour mon compte, je ne verrais aucune difficulté à établir et à entretenir toujours également tendu un

(1) Une chaîne entre deux bornes pèse 31k,91; il faut ajouter les crochets et goujons du poids de 6 à 7 kilogrammes.

Digitized by Google

pareil système d'arcs, et je serais bien aise de trouver l'occasion d'en faire l'essai (1).

(1) Au moyen d'arcs en fils de fer portant des ligatures continues et reliés entre eux, j'ai fait des modèles de balcons économiques, formés de carrés, de losanges, et de toutes les figures qu'il m'a plu d'adopter

Digitized by Google

CHAPITRE VI.

Passerelle provisoire. — Moyen employé pour diminuer ses oscillations.

Aussitôt que les portiques furent élevés de quelques assises, on dut chercher à en profiter pour établir une passerelle provisoire, afin de rendre plus commode le passage d'une rive à l'autre (1).

Ce passage s'effectuait auparavant au moyen de canots et de chalands, ce qui occasionnait toujours beaucoup de perte de temps et présentait souvent du danger, pendant les ouragans, pour les ouvriers, qui s'embarquaient toujours précipitamment et avec un peu de désordre quand la cloche sonnait ; une communication facile devant d'ailleurs favoriser beaucoup la surveillance des travaux, je prêtai les mains à l'établissement de la passerelle, dont les frais de construction devaient être supportés par l'entrepreneur, en permettant l'emploi de plusieurs éléments des câbles, de fers et de bois devant servir plus tard à la construction du tablier.

Comme la distance entre les croupières des éléments des câbles, était beaucoup plus considérable que celle qui devait exister entre les limites

(1) Il est bon de rappeler ici que les maçonneries des deux rives s'élevaient à la fois ; et quoique chacune d'elles formât un atelier distinct, cependant les principaux établissements de forge se trouvaient sur la rive gauche ; les communications entre les deux rives étaient donc continuelles.

Digitized by Google

des arcs paraboliques de ceux de la passerelle, en confectionnant quatre de ces éléments, je fis établir, à ces dernières distances, deux anneaux provisoires A (Pl. VII, *fig.* 8.), en liant les deux extrémités du premier fil de chaque anneau aux deux premiers fils de l'élément, les deux extrémités du deuxième fil de l'anneau, aux troisième et quatrième de l'élément, et ainsi de suite, de manière que la somme des fils des anneaux fût de 88, nombre égal à celui des fils d'un élément.

Quand j'ai démonté la passerelle, j'ai fait couper les ligatures de ces anneaux et rétablir les quatre éléments des câbles qui y avaient été employés, dans la forme qu'ils devaient avoir.

Sur les parements extérieurs des portiques, j'ai appliqué transversalement quatre poutres *aa* et *ss* (*fig.* 1 et 7), de manière que des tasseaux placés entre la première et la deuxième, la troisième et la quatrième, y conservassent des espaces vides de $0^m,10$, dans lesquels les câbles pouvaient passer; les poutres étaient soutenues par des chandelles et des jambes de force *sv* et *st*.

Toutes ces dispositions prises, j'ai procédé au passage des quatre faisceaux qui devaient former les câbles de suspension de ma passerelle, de la rive gauche, où ils se trouvaient, sur la rive droite.

Pour l'opérer, j'ai fait porter par des hommes montés sur un canot, l'extrémité d'un seul fil sur ladite rive, en retenant sur la gauche l'autre extrémité à laquelle j'ai attaché la croupière d'un petit câble composé de huit fils; au moyen d'un cabestan A, *fig.* 2, j'ai attiré ce petit câble sur la rive droite, en enroulant le fil unique sur ledit cabestan; le petit câble *bbbb* passé et placé entre les vides des poutrelles, à peu près comme les grands câbles devaient l'être, m'a servi de chemin de fer aérien, pour attirer un de ces derniers d'une rive à l'autre, de la manière suivante.

Je l'ai fait passer par les vides *x*, *fig.* 7, ci-dessus indiqués, et je l'ai attiré vers la rive droite au moyen d'un second petit câble en fil de fer et de cordages s'enroulant sur le treuil A, *fig.* 2; de 30 mètres en 30 mètres, j'ai attaché à ce câble *ccc* des poulies *ppp* dont la gorge roulait sur le petit câble fixe *bbb*; aussitôt que l'anneau dont j'ai parlé plus haut a un peu dépassé les faces extérieures des poutres transversales, j'y ai introduit trois goujons en fer *y* (*fig.* 7 et 8), et l'un des câbles s'est ainsi trouvé amarré auxdites poutrelles.

J'ai passé les trois autres de la même manière; mais pour n'avoir besoin que d'un petit câble conducteur de huit fils, et ne pas employer

Digitized by Google

un trop grand nombre de poulies, j'ai envoyé un homme placé dans une petite balance B, composée d'un petit plancher d'un mètre carré, soutenu par quatre petits câbles, et ressemblant à peu près à un panier à salade, sur toute la longueur du câble précédemment passé; la balance portait à son sommet une forte poulie et roulait sur le câble; au moyen du trenil A on l'attirait d'une rive à l'autre; l'homme qui y était placé, déliait les poulies *p* attachées au premier câble, et les rapportait sous le portique de la rive gauche.

Dans la crainte que les poutres transversales, auxquelles les quatre câbles de la passerelle étaient amarrées, ne vinssent à fléchir, j'ai amarré également les croupières de ces câbles aux points D et D, *fig.* 2, à des barres appuyées contre des goujons en fer, scellés dans le rocher (*voy. fig.* 9 et 10).

Tout ce travail exécuté, j'ai posé le plancher par la méthode ordinaire.

Cette passerelle était extrêmement légère, et quoique les câbles de suspension eussent une très-petite flèche, ce qui augmentait leur rigidité, son plancher était tellement oscillant, pendant les grands vents, que les ouvriers éprouvaient quelque répugnance à y passer; pour diminuer les oscillations, j'essayai un moyen qui a été couronné du succès le plus complet; j'ai fait placer de distance en distance de petites pièces de bois *ff*, (*fig.* 1, 5 et 6,) entre les câbles et quelques poutrelles du plancher, de sorte que le moindre mouvement du tablier se transmettait immédiatement auxdits câbles; les oscillations depuis cette époque n'ont guère été plus considérables que celles qui ont lieu sur la plupart des ponts suspendus à petite portée.

Je me suis donc convaincu qu'un des meilleurs moyens de diminuer les oscillations des ponts suspendus, est de rendre solidaires les câbles avec le plancher; j'en conclus que les tiges les plus rigides, celles en fer forgé, sont préférables aux tiges en fil de fer, et qu'on doit en supprimer le plus possible en rapprochant le tablier des câbles en son milieu, de sorte que les poutrelles soient pour ainsi dire attachées auxdits câbles, sur une grande longueur.

Digitized by Google

CHAPITRE VII.

Machines employées à la construction. — Fabrication et pose des câbles de suspension et d'amarre. — Diverses dispositions qu'on peut adopter pour les câbles de suspension.

Le levage des pierres a été opéré au moyen de treuils en fonte, représentés en T T′ T″ T‴ (Pl. VI, *fig.* 1, 2, 3 et 4). Lorsque les piédroits des arcades PP s'élevaient, on déplaçait l'échafaud EFG composé d'un simple plancher porté par des longrines soutenues elles-mêmes par des jambes de force F s'appuyant dans des vides qu'on avait laissés dans les parements, et qu'on n'a bouchés qu'en rejointoyant. Sur ce plancher on posait des chevalets *c c* sur lesquels reposait un autre plancher *g g*, composé de quelques madriers, et qui portait le treuil; le déplacement de cet échafaud et du treuil, qui avait lieu chaque fois qu'on avait élevé les piliers d'environ 3 mètres, n'exigeait qu'une demi-journée de trois ou quatre hommes, et s'opérait presque toujours le dimanche.

Les manivelles *m* s'appliquaient à un engrenage; la grande roue *r* était dentée, l'axe en fer horizontal *s*, que faisaient mouvoir lesdites manivelles portait un pignon également denté. A côté de la roue dentée se trouvait une autre roue d'un plus petit diamètre à bande plate et se mouvant avec elle, contre laquelle, en abaissant le bras *t*, on pouvait serrer un frein; cette précaution était prise pour arrêter le mouvement de rotation dans le cas où quelques dents de la roue, ou la roue elle-même, se fussent brisées.

Digitized by Google

Quand les voûtes des arcades ont été presque terminées, on a laissé une ouverture AB à l'une d'entre elles sur chaque rive, par laquelle, au moyen du treuil (*fig.* 1), on a monté longtemps les matériaux ; mais à la fin de la campagne de 1838, et quand on a commencé les portiques, il a fallu fermer cette ouverture et disposer les échafaudages autrement.

On s'est encore servi des treuils en fonte, mais ces treuils n'offrent une solidité convenable que lorsque l'effort exercé sur eux est dirigé dans l'axe de leur chevalet *x x* (*fig.* 3); on les a placés alors dans le sens indiqué dans ladite figure, en les soutenant par des jambes de force moisées dans les poutres horizontales de leurs planchers (1). La corde qui s'enroulait sur le cylindre passait dans une poulie R, soutenue par un échafaud extérieur fort simple, composé d'une poutre portée par deux systèmes de chevalets *c c* (*fig.* 3 et 4). De peur que cette poutre ne ployât sous les poids soulevés qui étaient quelquefois de 2,000 kilogrammes, on l'avait renforcée supérieurement par une barre de fer de $0^m,07$ carrés ; les chevalets étaient portés par des poutres EE, dont les parties en saillie étaient soutenues par des jambes de force F.

Toutes les pierres qu'on élevait, après avoir été apportées soit au moyen de petits chariots, soit souvent à la civière sous les arcades, étaient placées dans des balances *b* formées d'un petit plancher d'un mètre carré portant quatre crochets où s'attachaient les chaînes H fixées elles-mêmes à l'extrémité des câbles. Quand la pierre était arrivée sur les arcades, on la plaçait sur un petit chariot *o o* (*fig.* 3 et 4), roulant sur des rails en bois, on la transportait ainsi sous le portique en Q; là, on la saisissait au moyen d'un câble portant quatre chaînes semblables à celles déjà décrites, et qu'on accrochait aux coins du chariot formant lui-même balance, et on l'élevait par le mouvement d'un autre treuil placé sur un plancher semblable à celui dont on a donné la description (*fig.* 2), jusqu'à la hauteur où elle devait arriver.

Les poids les plus ordinaires qu'on élevait étaient de 5 à 600 kilogr., alors quatre hommes manœuvraient les treuils ; on en mettait jusqu'à huit pour ceux qui dépassaient 1,200 kilogrammes.

(1) Une fois, par l'étourderie d'un contre-maître, on avait placé un treuil de manière que l'axe *x x* fût vertical et que l'effort exercé sur lui fût horizontal ; le treuil s'est brisé sous une très-petite traction, à ses quatre pieds ; la nature de la fonte dont ils sont formés, devait faire prévoir ce résultat : une pièce faite avec cette matière ne résiste qu'aux efforts d'écrasement et presque jamais à ceux de rupture en travers.

Digitized by Google

Le mortier a été fabriqué au moyen de manéges ordinaires qu'il est inutile de décrire ici.

Pour le forage des trous d'amarre suivant la méthode artésienne, voici comment on s'était installé (*voyez* Pl. X).

On avait établi un treuil T (*fig.* 1 et 2), semblable à ceux précédemment décrits, mais dont on avait ôté le frein qui devenait inutile, et dont on avait entouré les cylindres en fonte par un gros cylindre en bois *b*, fait de quatre pièces qu'on avait ensuite recouvert de cordes goudronnées, pour que les frottements n'usassent pas trop vite le câble *c c*. Ce câble, tenu tendu par un homme H, faisait un seul tour sur le cylindre, et passait dans une poulie *p*; à son extrémité était suspendu le trépan *t* (1); on conçoit que lorsque les hommes H' (dont un seul est représenté dans la figure) faisaient tourner le cylindre au moyen des manivelles, le câble s'enroulait sur ledit cylindre, et élevait le trépan *t*; quand il l'était d'environ $0^m,10$ à $0^m,15$ (2), l'homme H lâchait la corde, et alors le trépan retombait par son propre poids au fond du trou à percer.

On voit que de cette manière les hommes H' tournaient la manivelle d'un mouvement continu, comme celui H exécutait les siens en mesure, le nombre de coups de trépan restait constant dans un temps donné.

Quant à l'homme H'', ses fonctions consistaient à imprimer au trépan, chaque fois qu'il était tombé, un mouvement de rotation, pour qu'il changeât de position; il donnait ce mouvement au moyen d'un bras de levier en bois *l* serré contre la barre avec des coins (*fig.* 1 et détails 8).

Je n'ai pas besoin de dire que les trépans s'ajustaient à des barres d'allonge, au moyen d'écrous *e* (*voyez* les mêmes détails).

Pour visser ou dévisser les allonges, on se servait des pièces *ddd*, mêmes détails.

Quelquefois le téton en acier restait engagé dans la roche, alors on se servait d'un trépan de la forme *a* (mêmes détails), jusqu'à ce que le téton resté au fond du trou fût tout à fait dégagé.

(1) Je ne crois pas avoir besoin de décrire le chevalet à trois branches qui soutenait cette poulie.

(2) Le roc à percer étant très-dur, quand on élevait davantage le trépan pour le faire retomber de plus haut, sa partie inférieure *v* acérée, nommée téton, se brisait souvent ou au moins s'émoussait de manière à ce qu'on était forcé, au bout de quelques heures, de la faire réacérer; en laissant tomber le trépan de moins haut, l'ouvrage avançait davantage et un trépan pouvait servir quelquefois dix-huit heures (surtout quand il était réacéré avec l'acier dit double marteau) sans avoir besoin de réparation.

Digitized by Google

Quand une barre cassait, on descendait dans le trou une tenaille N, dont l'intérieur était garni de pointes, ou une espèce de cloche *m*, et en la tournant au moyen du bras *l*, on cherchait à saisir la barre qu'on soulevait avec le secours du treuil; cette opération était souvent difficile.

Enfin, quand on voulait enlever l'eau des trous et le sable produit par le forage, on se servait de la pompe à piston *pp*, trop simple pour qu'il soit nécessaire de la décrire.

Pour transporter les câbles de suspension qui avaient été fabriqués sur la grande route de Nantes, assez loin du pont, je me suis servi d'un chariot à quatre roues (*fig.* 3 et 4), formé de deux cadres en bois; sur le cadre supérieur était établi un grand tambour à jour ayant à volonté un mouvement de rotation sur lui-même au moyen de l'axe A; pour charger un des câbles étendus en long sur la route, on attachait une des croupières à l'un des rayons R du tambour; faisant ensuite doucement marcher le chariot et tourner le tambour, on enroulait entièrement le câble qu'on pouvait alors facilement transporter : quand on voulait ensuite passer ce câble sur les portiques, on ne le déroulait qu'au fur et à mesure, en faisant tourner le tambour en sens contraire.

L'empierrement des routes aux abords du pont étant composé de pierres d'une nature extrêmement dure, dans le désir de le rendre commode au roulage sur-le-champ, je pensai à le comprimer au moyen d'un rouleau, et à en garnir la surface de matériaux plus tendres qui, en s'écrasant, devaient faciliter la prise des autres; comme ces matériaux se trouvaient aux deux extrémités de mes routes, il était nécessaire de les transporter; cela me donna l'idée de construire un rouleau-tombereau économique; je puis dire économique, puisqu'il ne m'a coûté que 150 fr., et qu'il n'en eût pas coûté plus de 200, dans le cas où tous les bois que j'ai employés à la construction, eussent été neufs.

J'ai fait tailler une grosse pierre de taille, la plus dure que j'ai pu trouver, en forme de cylindre (*voyez* G, *fig.* 5 et 7.); pour que les arêtes circulaires de cette pierre n'éclatassent pas, je les ai consolidées au moyen de frettes en fer *f* qu'on a placées dans un encastrement pratiqué exprès tandis qu'elles étaient rouges, de sorte qu'en se refroidissant elles ont assez serré la pierre pour ne pouvoir facilement sortir de l'encastrement; une boîte B, s'ouvrant comme les tombereaux ordinaires et s'ap-

Digitized by Google

puyant sur le cylindre VX, au moyen de deux tourillons *c* entrant dans des crapaudines, a été placée au-dessus; cette machine avait un double brancard, de sorte qu'il n'était pas nécessaire de la faire tourner, ce qui est une manœuvre difficile; quand les chevaux étaient attelés en B, un homme, au moyen du grand bras de levier L, maintenait la machine horizontale; quand c'était du côté L que la machine roulait, il suffisait de retirer le bras de levier des anneaux SS pour le passer dans ceux S' S'.

On conçoit que mon tombereau, de la contenance d'environ 1 mètre cube, avait, quand il était chargé de pierres, un poids assez considérable, et qu'en faisant le transport de ces pierres, j'opérais la compression des empierrements (1).

Voici les moyens que j'ai employés pour fabriquer et poser mes câbles de suspension et pour fabriquer ceux d'amarre.

Le système de fabrication que j'ai suivi pour les premiers ne diffère de celui indiqué par M. Vicat que par de petits détails d'exécution.

Après avoir déterminé la longueur que je voulais donner à mes câbles de suspension (2), j'ai établi sur la grande route de Nantes, des poupées en chêne composées de montants *ab*, de $0^m,25$ d'équarrissage, dans les deux sens (Pl. IX, *fig.* 1 et 2), enfoncés dans le sol de $1^m,80$ et saillant de 1 mètre au-dessus; le pied de ces montants était moisé par deux poutres également en chêne *cd* de $3^m,90$ de longueur, et de $0^m,25$ d'équarrissage dans les deux sens, qui moisaient également deux jambes de force *ef*, *ag* servant d'appui aux montants *ab*, et ayant $0^m,15$ d'équarrissage; sur l'extrémité *bc* des moises inférieures, étaient clouées deux semelles H et K de $0^m,40$ et $0^m,30$ de largeur sur $0^m,20$ de hauteur: toute la fosse dans laquelle ce système était établi fut ensuite remplie de maçonnerie à gros blocs à mortier de terre grasse.

Deux petites pièces de bois de $0^m,10$ d'équarrissage et en équerre *xy* et *yz* assemblées entre elles, et avec le poteau *ab* et la jambe de force *ag* à tenons et mortaises, complétaient le système de poupée.

Dans la tête du poteau *ab* on avait pratiqué une ouverture pour

(1) En donnant un plus grand diamètre au cylindre, en y faisant reposer un tombereau plus grand et qu'on pourrait charger de vieilles fontes, on pourrait à très-bon marché avoir un excellent rouleau de compression

(2) La réunion des câbles d'amarre et des câbles de suspension devant s'opérer dans l'intérieur des culées, j'étais libre de donner la longueur que je désirais à ces derniers à un ou deux mètres près.

Digitized by Google

donner passage à une vis *l m n*, dont l'extrémité porte un mentonnet *n* de 0m,08 d'épaisseur et 0m,10 de saillie ; c'est à ce mentonnet qu'est accrochée la croupière *o* de l'élément de câble ou faisceau, qu'on veut fabriquer.

L'extrémité de cette vis est taraudée et porte un écrou en cuivre *p*, reposant sur une rondelle en fer *q* ; pendant la fabrication le point *n* est repéré sur une ligne droite *r s* tracée d'équerre au câble sur une planche posée horizontalement et d'une manière bien invariable sur deux montants (*voy. fig.* 3); chaque fois qu'on a ajouté quatre ou cinq fils au câble, on tend le fil *rst*, sur la ligne *rs*, si ce fil laisse en dehors le point *n*, c'est une preuve que l'appareil a cédé, et l'on ramène ce point à sa véritable place en tournant l'écrou *p*.

A côté de la poupée on place un petit poteau mobile *uv* se mouvant inférieurement dans une petite crapandine V placée sur une pierre plate et retenue à son sommet par un collier *u*, ce poteau forme la partie verticale d'une potence $vu\alpha$, qui peut prendre par conséquent la position $vu\alpha'$ indiquée par des lignes ponctuées (*fig.* 2) ; à l'extrémité de la pièce horizontale $u\alpha$ est placée une petite poulie en fonte β, dans une direction telle qu'elle soit dans le prolongement d'un fil du câble quand elle est dans la position β', cette disposition est représentée figure 4.

Enfin un treuil γ se trouve en arrière de cet appareil à environ 12 mètres; sur son bras de levier $\gamma\lambda$, on a marqué des points λ à une distance telle qu'un homme qu'on ne change jamais, en s'appuyant de tout son poids en ce point, fasse équilibre à une tension d'environ 300 à 350 kilogrammes.

Tout cet appareil établi, on peut procéder à la fabrication d'un câble.

On apporte un cylindre ou tambour sur lequel on a enroulé plusieurs fils réunis bout à bout (1), ce tambour placé sur une brouette (*fig.* 5 et 6).

On saisit le premier bout de fil qu'on attache à un poteau μ (*fig.* 1re), on l'enroule sur la croupière δ, et un homme roule la brouette, qui porte le tambour de la poupée B à la poupée A; ce fil est passé dans la croupière O (*fig.* II); la potence mobile ayant la position $vu\alpha'$, on saisit en-

(1) Il y avait ordinairement de 150 à 200 kilogrammes de fils enroulés sur un tambour; ce tambour, d'environ 0m,60 à 0m,80 de diamètre est formé de deux rondelles en bois maintenues par deux croix et réunies par des lattes carrées; il est par conséquent à jour; un axe en fer le traverse et sert à le faire reposer sur la brouette en E, *figures* 5 et 6.

Digitized by Google

suite le fil au moyen d'une tenaille de fer j, portant une rainure dans l'intérieur de sa mâchoire et attachée à l'extrémité d'une corde enroulée sur le cylindre γ, et l'homme placé en λ opère une tension préalable de 300 à 350 kilogrammes, destinée à redresser les cosses ou inflexions des fils, et à faire justice, soit des ligatures bout à bout mal exécutées, soit des pailles passées inaperçues dans le premier examen des fils qui doit avoir lieu pendant le vernissage (1). Cette tension opérée, on saisit de nouveau le fil avec une autre tenaille semblable à la première, mais attachée à une autre corde qui porte à son extrémité nn poids P de 100 kilogrammes; on passe la corde sur la poulie β; on fait mouvoir alors la potence qui vient prendre la position $\nu\mu\alpha$, et le fil tenu sous la tension de 100 kilogrammes s'est enroulé snr la gorge de la croupière O.

Cela fait, l'homme H continue son voyage de la poupée A à la ponpée B, où les dernières opérations ont lieu (2); nne fois arrivé au dernier fil, on en réunit l'extrémité au premier $\delta\mu$ et on le coupe.

Dans le système de fabrication avec une tension préalable, il y a une précaution essentielle à prendre quand on pose les premiers fils, c'est de les saisir avec une mâchoire fixe sur la poupée B par exemple, quand on opère la tension du côté de la poupée A, afin que cette tension ne se transmette qu'à la dernière longueur du fil; sans cette précaution les fils précédents se resserreraient, et comme le frottement les empêcherait de reprendre leur première position, leur tension serait au-dessus de celle constante de 100 kilogrammes qu'on veut leur donner.

Quand il y a environ sept à huit fils passés sur la croupière, les frottements ne permettent plus à la tension préalable de se transmettre aux fils précédents, et l'on peut négliger cette précaution.

La distance entre les poupées est ordinairement trop grande (elle était de 329 mètres à la Roche-Bernard) pour qu'on n'établisse pas de poteaux intermédiaires pour soutenir les fils; les miens étaient placés de 40 mètres en 40 mètres. Ils avaient la forme indiquée *figures* 7 et 8.

(1) Toutes les fois qu'un fil s'est cassé sous la tension préalable, j'ai examiné la cassure, et j'y ai toujours remarqué des pailles.

(2) Quand tout le fil enroulé sur un tambour était dévidé, on en réunissait le bout à celui d'une autre masse d'un second tambour, de sorte qu'on formait ainsi un fil sans fin.

Digitized by Google

Ces poteaux, bien alignés entre eux, portaient deux oreilles θ dans l'intérieur desquelles se trouvaient de petites poulies en faïence roulant sur un axe; le fil étant posé sur ces poulies tandis qu'on opérait la tension, on comprend que les frottements ne devaient pas être assez grands pour que ces tensions ne se transmissent pas à toute la longueur du fil; quand elles étaient opérées, on déposait le fil tendu sur une partie plane π.

Enfin, pour dernière précaution, j'avais placé deux demi-cylindres d'un centimètre à peu près de diamètre K, au-dessus des vides qui existent entre les poulies et les joues, pour que jamais un fil ne pût s'y engager, accident qui eût empêché la tension de se transmettre à toute la longueur du fil.

Il peut arriver souvent, comme il est arrivé à la Roche-Bernard, que le terrain sur lequel on établit l'atelier de câblerie ne soit pas de niveau; on peut, à la vérité, redresser un peu la ligne en établissant les têtes de poteaux à des hauteurs différentes; mais c'est à peine si l'on peut gagner un mètre par ce moyen, car ces têtes doivent toujours rester à la portée d'un homme; dans ce cas le câble ne pouvant être fait exactement en ligne droite dans le plan vertical, doit suivre au moins une courbe convexe vers le sol, ce qui rend les frottements moins grands sur les têtes des poteaux.

Il faut faire en sorte que cette courbure soit très-peu considérable, car ce serait une erreur de croire qu'il y aurait avantage à fabriquer un câble suivant les courbures qu'il doit affecter quand il est posé (1); les fils, dans ce cas, sont inégaux en longueur, et quelles que soient les précautions qu'on prenne pendant le transport et la pose, il est difficile que souvent les plus courts ne prennent pas la place que devaient occuper les plus longs, et *vice versâ*; ce qui produit une grande inégalité de tension.

Lorsqu'un élément de câble était fabriqué, je le détendais un peu pour faciliter le travail des ligatures près des croupières, les fils qui en sortent n'auraient pas pu être resserrés entre eux sans cette précaution; je faisais opérer sur-le-champ les ligatures voisines desdites croupières et celles des parties du câble qui devaient reposer sur les cylindres mobiles du

(1) On conçoit que je ne parle pas ici de la fabrication en place, où les fils conservent la courbure qu'on leur a donnée d'abord, mais de celle sur le métier, les câbles devant être transportés ensuite sur le pont.

Digitized by Google

sommet des portiques (1); sur tout le reste de la longueur des câbles, je n'ai placé que des ligatures provisoires formées de deux tours seulement de fil recuit, et peu serrées; après la pose, toutes ces dernières ligatures ont été coupées.

Pour opérer celle d'un élément de câble ou faisceau, je l'amenais, sur le chariot décrit précédemment, devant le portique de la rive gauche; au moyen d'un treuil *d* placé à son sommet (Planche V, *fig.* 5) et de cordages, je le faisais arriver sur ledit portique où il roulait sur des rouleaux *a* et *b*; lorsque sa tête *c* était parvenue au niveau de la passerelle, des hommes qui y étaient placés aidaient à bras le mouvement du premier treuil, en faisant glisser le câble sur des rouleaux posés de distance en distance sur ceux de suspension de la passerelle; quand la tête *c* était arrivée à peu près au milieu de la passerelle, de nouveaux cordages y étaient attachés, et un autre treuil, placé sur le portique de la rive droite, l'attirait sur cette rive, et le treuil *d* devenait inutile, un ou deux hommes au plus suffisant sur le portique gauche pour faire glisser le câble sur les rouleaux *a* et *b*; enfin, quand la tête *c* avait dépassé le second portique, un troisième treuil, placé près des amarres de cette rive, l'amenait à la place qu'il devait occuper.

Pendant qu'on posait quatre éléments de suspension, on fabriquait sur place un câble d'amarre pour chaque rive, et on opérait l'assemblage immédiatement comme il sera expliqué plus tard.

On remarquera que ces câbles ne devaient pas être placés de manière à affecter immédiatement la flèche de 15^{m},20 qu'ils devaient avoir après la pose du tablier; pour trouver cette flèche, il fallait résoudre ce problème :

Quelle flèche provisoire faut-il donner pour que le câble de suspension arrive à avoir une flèche de 15^{m},20 après l'allongement produit par le poids du plancher, celui résultant de la charge d'épreuve et la diminution de courbure des câbles de retenue, et enfin le relèvement qui s'opère après l'enlèvement de ladite charge (2)?

(1) J'avais été conduit à faire exécuter de suite ces ligatures, afin que mes éléments de câbles tinssent moins de place sur les cylindres, et par la raison qu'on ne peut plus les exécuter après la pose; cependant j'ai eu tort: quelques fils, ne pouvant glisser les uns sur les autres dans ces ligatures fort serrées, s'y sont cassés pendant cette pose, ou pendant le transport; moins on fait de ligatures définitives avant la pose, mieux cela vaut.

(2) Lorsqu'on charge un pont suspendu, les câbles de suspension s'allongent, et par conséquent la flèche augmente; quand on enlève cette charge, l'élasticité du fil et l'augmentation de la flèche de

Digitized by Google

J'avais trouvé que cette flèche devait être de 14^{m},41, que j'avais réduite à 14^{m},30 de crainte d'erreur, préférant augmenter plutôt que de diminuer le bombement du pont, et devant d'ailleurs faire entrer en considération l'allongement dû à l'élévation de la température en été. Je donnerai le détail de mes calculs dans le chapitre IX.

Pour m'assurer que mes câbles avaient en effet la flèche provisoire de 14^{m},30 que je voulais leur donner, j'avais fixé sur les faces intérieures des deux portiques, deux madriers parfaitement délignés et posés bien de niveau à 14^{m},30 au-dessous de l'origine de la suspension; les faces supérieures de ces madriers déterminaient donc un plan horizontal tangent aux arcs paraboliques des câbles; j'ai pu, de cette manière, placer exactement les deux premiers éléments sur chaque tête de pont; la ligne joignant l'intérieur des croupières à l'extrémité de ces quatre câbles m'a servi de repère pour la pose des autres (1), et pour déterminer la longueur des câbles d'amarre.

J'ai dit qu'en même temps que je passais quatre éléments de câbles de suspension, je fabriquais sur chaque rive et sur place un câble d'amarre; cette fabrication mérite une explication particulière et détaillée.

En travers des maçonneries des galeries encore ouvertes dans le rocher conduisant aux puits d'amarre (Pl. VIII, *fig.* 1, 2 et 3), et suivant la ligne déterminée par les croupières des quatre premiers faisceaux de suspension, j'ai établi deux fortes poutres *as* à chaque tête du pont; ces poutres étaient assujetties d'une manière invariable, soit par leur encastrement dans les maçonneries, soit par des arcs-boutants *b* d'une grande force, appuyés contre le rocher; elles étaient percées d'un trou dans lequel passait la vis à écrou et à mentonnet, dont je m'étais servi pour la fabrication des câbles de suspension (*voy. c t*, *fig.* 8, et le dessin de la poupée, Pl. IX). On voit de suite, que ces poutres horizontales ont pu remplir les fonctions des poupées décrites précédemment; on voit aussi qu'elles

ceux de retenue raccourcissent les câbles de suspension et diminuent leur flèche, mais il reste un certain allongement qui ne se détruit pas, et la flèche définitive reste par conséquent un peu plus considérable qu'elle ne l'était avant l'épreuve.

(1) On n'aurait pu juger à l'œil de la flèche des autres éléments de câbles de chaque côté, car le moindre vent les faisait se croiser et se placer les uns sur les autres; mais celle des derniers était déterminée par la position de leurs croupières sur la ligne trouvée précédemment.

Digitized by Google

étaient placées un pen plus haut qne ne devait l'être la nappe des câbles (*voy. fig.* 1).

Au-dessous de cette poutre, j'en avais établi une autre *u* servant avec la précédente à retenir provisoirement les câbles, soit d'amarre, soit de suspension avant qu'ils fussent assemblés, et il suffisait pour cela de passer dans leur croupière des goujons s'appuyant sur les deux poutres. Tout cela préparé, et les croupières d'un élément de câble d'amarre accrochées aux mentonnets *cc* des vis, un homme *h* (*fig.* 2) se plaçait au milieu de la galerie horizontale sonterraine, et faisait tourner un tambour établi sur un chevalet; après avoir attaché d'une manière invariable le premier bout, il portait le fil double au fond du puits A; un autre homme *h'*, placé à son orifice supérieur, montait le fil au moyen d'un crochet, et allait l'enrouler autour de la croupière placée en *c*, après que d'autres hommes lui avaient fait subir soit la tension préalable au moyen des treuils TT, soit la tension constante de 50 kilogrammes seulement, au moyen du poids *p*; de cette manière la branche gauche du câble d'amarre était déjà composée de deux fils; l'homme *h*, continuant à laisser tonrner son tambour, portait dans le puits B un antre fil donble qu'on saisissait de la même manière avec un crochet et qu'on enroulait autour de la croupière placée à droite, toujours après lui avoir fait subir les tensions dont on vient de parler : la branche droite du câble se trouvait donc déjà également composée de denx fils. cette opération, recommencée dans le puits A, ajoutait denx nonveaux fils à la branche gauche, et ainsi de suite, deux fils se plaçant ainsi à la fois dans chaque branche; il fant observer qn'avant d'opérer les tensions sur la ganche, par exemple, l'homme *h*, alors dans sa position *h''*, tirait le fil à la main dans le pnits B pour s'assurer qn'aucnn obstacle imprévu, deux ligatnres bont à bout qui se seraient accrochées par exemple, n'empêchait les teusions de se transmettre partout.

J'ai déjà fait connaître avec détail les formes et dispositions qu'affectent les câbles d'amarre, je n'en reparlerai pas ici.

Je terminerai ce chapitre par l'examen des diverses dispositions adoptées jusqu'à présent pour les câbles de suspension et de celles qui me paraissent les meilleures.

Dans les premiers ponts suspendus en fil de fer qui ont été construits, MM. Seguin, à qui on les doit, imaginèrent la disposition dite en guirlande; M. Vicat, dans son pont d'Argentat, l'a également adoptée.

Digitized by Google

Dans ce système, les câbles forment à chaque tête du pont une surface gauche dont la génératrice est horizontale sur les supports et à peu près verticale au milieu du pont, de sorte que chacun d'eux a une flèche différente (*Voyez* Planche II, *fig.* 2); les tiges sont successivement attachées à chacun des câbles, et forment par conséquent une suite de surfaces gauches différentes.

Ce système a l'avantage de bien répartir la charge totale sur tous les câbles, mais il a l'inconvénient, quand il y en a un assez grand nombre, de ne faire porter qu'à deux d'entre eux les charges passagères : les différentes surfaces gauches que forment les tiges sont d'ailleurs d'un aspect peu agréable à l'œil (1).

A d'autres ponts, et en particulier celui de la préfecture à Lyon, on a disposé les quatre câbles qui se trouvent de chaque côté en deux nappes (*fig.* 3) ayant deux flèches différentes, de sorte qu'elles n'en forment plus qu'une sur les piliers. Chaque tige est attachée successivement à la première et à la seconde nappe; on évite de cette manière les surfaces gauches, et les charges passagères peuvent être considérées comme portant sur tous les câbles à la fois, car il est impossible que deux poutrelles consécutives ne soient pas solidaires : mais le rapprochement des nappes près des piliers y rend très-difficile la pose des chevalets, et les tiges étant nécessairement verticales dans ce système, on perd l'avantage que présentent les tiges inclinées de s'opposer aux oscillations horizontales.

On a imaginé, pour conserver ledit avantage, de donner aux câbles de la nappe inférieure un plus grand espacement entre eux (*voyez fig.* 4); mais le chevalet prend alors beaucoup de portée, et tend à se ployer plus facilement (2).

A plusieurs autres ponts sur la Saône, on a établi tous les câbles sur une seule nappe portant un chevalet unique, auquel est attachée une tige verticale (*voy. fig.* 6). Cette disposition est très-élégante, cependant je la regarde comme la plus vicieuse de toutes : 1° parce qu'avant que le tablier soit posé, il est bien difficile de s'assurer que tous les

(1) Quelquefois en conservant la même disposition on a fait porter chaque tige sur deux câbles; un des inconvénients que j'ai signalés a été ainsi rendu moins grave, mais il existe toujours, ainsi que le second.

(2) Je ne parle pas de la disposition qui consisterait à établir deux nappes parallèles; outre l'inconvénient de ne pouvoir incliner les tiges, on est forcé dans ce système d'adopter des formes compliquées d'appareils mobiles sur les portiques.

Digitized by Google

câbles ont des flèches parfaitement égales, et en plaçant les chevalets sans les tiges et les pontrelles, on trouverait probablement qu'ils n'y reposent que comme dans la figure 14, et si, lorsque le tablier est placé, le système prend la forme de la figure 6, c'est que les câbles les plus courts se sont déjà allongés sous la charge, et ont par conséquent travaillé avant les autres; cette disposition tend donc à augmenter l'inégalité de travail des câbles; j'ajouterai qu'il est difficile d'ailleurs d'établir les tiges inclinées dans ce système, car, dans ce cas, il faut donner aux chevalets la forme indiquée Pl. IV, *fig.* 2, qui n'est cependant pas admissible si ces chevalets doivent reposer sur plus de deux câbles.

Pour éviter les inconvénients signalés précédemment, quelques constructeurs ont adopté la disposition de la figure 5. Les câbles ne forment qu'une seule nappe, mais les tiges reposent successivement sur le 1er et le 2e câble, sur le 2e et sur le 3e, sur le 3e et le 4e, et ainsi de suite, ce qui forme une suite de plans inclinés sur la tête du pont qui ne produisent pas un bon effet; on est forcé d'ailleurs, dans ce système, de donner beaucoup plus de longueur aux poutrelles.

Pour conserver l'élégante disposition d'une nappe unique, sans tomber dans les inconvénients qu'elle entraîne avec elle, j'avais proposé d'adopter la disposition représentée figure 8.

Deux petits chevalets reposent sur les deux paires de câbles; ces chevalets sont enfilés dans deux anneaux qui portent eux-mêmes un troisième chevalet enfilé dans l'anneau de la tige de suspension.

Il est évident que dans ce système les charges passagères et permanentes portent sur les quatre câbles à la fois, quand bien même leurs flèches seraient très-inégales, et qu'on peut incliner les tiges à volonté.

Le seul défaut de ce système est peut-être de présenter une trop grande quantité de fers aux points où les tiges reposent sur les câbles.

La disposition des câbles du pont de Fribourg, que j'ai adoptée pour celui de la Roche-Bernard, me paraît au surplus la plus simple, et par conséquent préférable à toutes les autres; elle offre d'ailleurs l'avantage de donner une plus grande rigidité aux câbles qui sont plus gros et présentent moins de surface à l'action des vents; en ayant l'attention de rendre les mouvements du tablier solidaires avec ceux de pareils câbles, on doit obtenir un système rigide, comme il l'est en effet à la Roche-Bernard.

Digitized by Google

CHAPITRE VIII.

Expériences sur la résistance des fils.

Je crois inutile de reparler ici des expériences dont j'ai consigné les résultats dans le numéro des *Annales des ponts et chaussées* de novembre et décembre 1839; je me contenterai, dans cette notice, de comparer plusieurs de ces résultats entre eux, dans l'espérance d'en tirer quelques inductions, et de citer les expériences postérieures auxquelles je me suis livré, soit pour compléter les précédentes, soit pour obtenir quelques nouvelles données sur la résistance du fil de fer.

Résistance des fils légèrement oxidés.

Pendant le transport de la tréfilerie dans les localités où ils doivent être employés, pendant le temps où ils sont gardés en magasin, enfin depuis le jour où les câbles ont été fabriqués jusqu'à celui où ils sont posés et peints, il arrive toujours que plusieurs fils se couvrent d'une couche d'oxide très-remarquable à la vue.

J'ai voulu me rendre compte de la perte de force qu'une oxidation pareille et de peu de durée pourrait faire éprouver à un fil de fer.

Digitized by Google

J'ai démontré, dans le numéro des *Annales* que je viens de citer tout à l'heure, que les morceaux d'un fil cassé sous une certaine tension, peuvent en supporter une au moins égale avant de rompre.

En conséquence, j'ai choisi un fil dans une masse bien exempte de pailles, et je l'ai fait rompre sous un poids de 678 kilogrammes.

J'ai enlevé avec soin le vernis sur $0^m,20$ de longueur, sur chacun des deux morceaux, que, deux fois par jour, pendant deux mois, j'ai fait plonger dans la rivière au moment de la haute mer (1).

J'ai soumis ensuite ces deux morceaux à de nouvelles tensions.

Le premier s'est rompu sous 685 kilogrammes, le second sous 688, mais il est à remarquer cependant que, soit effet du hasard ou autrement, la rupture a eu lieu sur la partie où le vernis avait été enlevé et qui se trouvait le plus oxidée; je dis le plus, parce qu'il paraissait de nombreuses taches d'oxide sur toute la longueur de ces fils, d'où j'ai conclu que si cette oxidation a produit quelque perte de force, cette perte a été bien peu sensible, et qu'on ne doit pas s'effrayer beaucoup des taches que des fils peuvent porter, et les regarder pour cela comme non recevables (2).

En examinant les nouveaux morceaux à leurs points de rupture, j'ai remarqué que des longueurs de 15 millimètres sur les deux premiers, et de 16 sur les deux derniers, étaient entièrement dépouillées d'oxide; ces deux longueurs ne pouvaient être celles dont les fils s'allongent au moment de leur rupture, et qui prennent la forme de troncs de cône, elles ne dépassent jamais 3 millimètres; il m'a donc paru démontré que la couche d'oxide formait sur le fil une espèce de gaîne qui s'était rompue et détachée pendant la rupture; dans cette partie ce fil était sain, et l'oxide n'avait attaqué, à ce qu'il paraît, que sa surface.

Longue résistance des fils sous des efforts considérables, et allongements qu'ils éprouvent.

Lorsqu'on tend un fil sous un poids donné, il éprouve un certain allongement; quand on cesse de lui faire subir cette tension, il ne revient pas exactement à sa longueur primitive, mais il conserve une partie dudit allongement.

(1) On sait que l'eau salée oxide le fer plus rapidement que l'eau douce.

(2) Malgré ce résultat, je n'ai pas mis moins de soin à faire disparaître ces taches sur les câbles fabriqués; aussitôt que j'en apercevais une, j'y faisais donner un coup de pinceau.

Digitized by Google

J'ai déjà indiqué les résultats de quelques-unes de mes expériences à cet égard, dans les *Annales*, mais j'en ai fait depuis de nouvelles que je vais consigner ici.

J'ai soumis un fil de $3^{mm},30$ de diamètre, tiré d'une masse dont j'avais essayé un grand nombre de bonts, à une tension de 20 kilogrammes, ce qui donnait seulement $2^{kg},337$ par millimètre quarré de section, et j'ai mesuré sur ce fil une longueur de $1^{m},30$ (1).

Je l'ai mis, le 23 juin 1839, en tension sous un poids de 100 kilogr. ; j'ai mesuré, jour par jour, son allongement; lorsque cet allongement a cessé d'augmenter, et qu'il est resté constant pendant deux ou trois jours, j'ai replacé le fil sous la tension primitive de 20 kilogrammes et mesuré l'allongement restant ; j'ai continué cette opération, en augmentant chaque fois la tension de 50 kilogrammes et en revenant toujours à celle de 20 kilogrammes.

J'ai rassemblé les résultats de cette expérience dans le tableau ci-après, en ramenant la tension et les allongements au millimètre quarré de section et au mètre de longueur du fil.

(1) J'ai pris mes mesures sur un fil un peu tendu pour avoir un point de départ bien invariable, et afin de pouvoir mesurer plus facilement les bouts à peu près redressés de cette manière.

Digitized by Google

PREMIER ESSAI.

Date.	Température.	Tension par millimètre quarré de section.	Allongement par mètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive.	Différence par 50 kil. des allongements sous les tensions		OBSERVATIONS.
					passagères.	restantes.	
	Degrés.	Kilogram.	Millimètr.	Millimetr	Millimètr.	Millimetr	
Juin. 23	15,50	2,337	»	»	»	»	Cette tension par millimètre correspond à celle de 20 kil. par fil. C'est sous cette tension qu'on a pris le mesure.
24	16	id.					
id.	id.	11,688	0,769	»	0,769	»	Cette tension correspond à celle de 100 kil. par fil.
25	id.	id.	0,925				
26	13,25	id.	id.				
27	15	id.	1				
28	14	id.	id.				
id.	id.	2,337	»	0,230	»	0,230	C'est-à-dire que le fil était plus long de 0m,230 après avoir éprouvé la tension de 100 kil. et avoir été ramené à celle de 20, qu'il ne l'était avant.
29	18,25	id.	»	id.			
id.	id.	17,531	1,308	»	»	»	Cette tension par millimètre correspond à celle de 150 kil. par fil.
30	13,50	id.	1,462	»	0,693		Cette différence indique celle qui existe entre les allongements passagers sous 100 et 150 kil.
Juillet. 1er	14	id.	id.				C'est-à-dire que lorsque le fil, après avoir subi une tension de 150 kil., et après avoir été ramené à celle de 20 kil., a conservé un allongement plus grand de 0m,154 que celui qu'il avait conservé quand il avait été ramené à 20 kil., après avoir subi une tension de 100 kil.
id.	id.	2,337	»	0,384		0,154	
2	15	id.	»	id.			
id.	id.	23,375	1,692	»	»	»	Cette tension correspond à celle de 200 kil. par fil.
3	17	id.	1,846				
4	id.	id.	id.				
5	18,75	id.	1,925				
6	19,50	id.	id.				
7	21	id.	id.	»	0,461	»	
id.	id.	2,337	»	0,692	»	0,308	
8	18	id.	id.				
id.	id.	29,219	2,077	»	»	»	Cette tension correspond à celle de 250 kil par fil.
9	15	id.	2,154				

Digitized by Google

Dates.	Température.	Tension par millimètre quarré de section.	Allongement par mètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive.	Différence par 30 kil. des allongements sous les tensions		OBSERVATIONS.
					passagères.	constantes.	
	Degrés	Kilogram.	Millimètr	Millimètr.	Millimètr.	Millimètr.	
juillet. 10	19,50	29,219	2,230				
11	17	id.	id.				
13	18,25	id.	id.				
14	20	id.	id.				
15	17,25	id.	id.	»	0.307		
id.	id.	2,337	»	0,759	»	0,077	
16	18	id.	»	id.			
id.	id.	35,063	2,384	»	»	»	Correspond à la tension de 300 kil. par fil.
17	19	id.	2,538				
18	17,50	id.	2,769				
19	17	id.	id.				
20	16,75	id.	id.				
21	16	id.	id.				
id.	id.	2,337	»	1.077			
22	16,75	id.	»	id.	»	0,308	
id.	id.	40,907	3	»	»	»	Correspond à la tension de 350 kil. par fil.
23	17,50	id.	3,230				
24	17,25	id.	3,308				
25	16,25	id.	id.				
26	15	id.	id.	»	0.539		
id.	id.	2,337	»	1,077	»	»	Anomalie ; peut-être a-t-il existé une erreur de mesure.
27	14,50	id.	»	id.			
id.	id.	46,75	3	»	»	»	Correspond à la tension de 400 kil. par fil.
28	15,50	id.	3,077				
29	16,50	id.	3,230				
30	17,75	id.	3,308				

Digitized by Google

Dates.	Température.	Tension par millimètre quarré de section.	Allongement par mètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive.	Différence par 50 kil. des allongements sous les tensions		OBSERVATIONS.
					passagères.	rentantes.	
	Degrés.	Kilogram.	Millimètr.	Millimètr.	Millimètr.	Millimètr.	
Juillet. 31	15,50	46,75	3,308				
Août. 1er	17,25	id.	id.				
2	21	id.	3,385				
3	15,75	id.	id.				
4	16,50	id.	id.	»	0,077	»	Même anomalie, en sens contraire de la précédente
id.	id.	2,337	»	1,308			
5	16,25	id.	»	id.	»	0,231	
id.	id.	52,594	3,769	id.	»	»	Correspond à la tension de 450 kil. par fil.
6	15,50	id.	3,846				
7	17,50	id.	3,923				
8	15,50	id.	id.	»	0,538		
id.	id.	2,337	»	1,461			
9	17,50	id.	»	id.	»	0,153	
id.	id.	58,438	4	»	»	»	Correspond à la tension de 500 kil. par fil.
10	17,75	id.	4,077				
11	16,25	id.	id.				
12	id.	id.	id.				
13	17	id.	id.	»	0,154	»	Il y a comme ci-dessus anomalies semblables à peu près dans les deux colonnes.
id.	id.	2,337	»	1,461			
14	17,25	id.	id.				
id.	17,25	64,282	4,077	»	»	»	Correspond à la tension de 550 kil. par fil.
15	16,50	id.	4,154				
16	16	id.	4,238				
17	15	id.	id.	»	»	»	Il m'est arrivé souvent de laisser longtemps un fil sous la même tension pour connaître les progrès de l'allongement.
18	18	id.	id.				

Digitized by Google

Dates.	Température.	Tension par millimètre quarré de section.	Allongement par mètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive.	Différence par 50 kil. des allongements sous les tensions		OBSERVATIONS.
					passagères.	restantes.	
	Degrés.	Kilogram.	Millimetr.	Millimétr.	Millimétr.	Millimétr.	
Août. 19	16	64,282	4,238				
20	15	id.	id.				
21	16,25	id.	4,308				
22	15,75	id.	id.				
23	16,50	id.	id.				
24	id.	id.	id.				
25	19	id.	4,384				
26	17,50	id.	id.	»	0,307		
id.	id.	2,337	»	1,538			
27	id.	id.	»	id.	»	0,077	
id.	15	70,126	5	»	»	»	Correspond à la tension de 300 kil. par fil.
28	15	id.	6,308				
29	15,50	id.	id.				
30	15	id.	id.				
31	14,50	id.	id.				
septem. 1er	id.	id.	5,384				
2	id.	id.	id.				
3	14	id.	5,462				
4	14,50	id.	id.				
5	15,50	id.	id.				
6	16	id.	id.				
7	15,75	id.	id.				
8	16	id.	id.				
9	18	id.	5,538				
10	15,75	id.	id.	»	1,154		

Digitized by Google

Dates.	Température.	Tension par millimètre quarré de section.	Allongement par mètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive.	Différence par 10 kil. des allongements sous les tensions		OBSERVATIONS.
					passagères.	restantes.	
	Degrés	Kilogram	Millimètr	Millimètr	Millimètr	Millimètr	
Septem. 11	15	2,337	id.	2,231	»	»	Il est à remarquer que les anomalies entre les allongements passagers et ceux restants se correspondent, il n'y a donc pas erreur de mesure.
12	14	id.	id.	id.	»	0,693	
id.	id.	75,967	6,154	»	»	»	
13	13	id.	6,384	»	»	»	Correspond à la tension de 650 kil. par fil
14	12 50	id.	id.				
15	12	id.	id.				
16	13,25	id.	id.	»	6,846		
id.	id.	2,337	»	2,692			
17	12,50	id.	»	2,769	»	0,538	Correspond à la tension de 670 kil. par fil; comme j'approchais de celle qui devait faire rompre, je diminuais les accroissements de tension que je leur donnais
id.	id.	76,308	6,384	»	»	»	
18	12	id.	6,615				
19	id.	id.	id.				
id.	id.	79,476	6,692	»	»	»	Correspond à la tension de 680 kil. par fil.
20	13	id.	6,769				
21	12,50	id.	6,943				
22	12,75	id.	id.				
23	13	id.	7				
id.	id.	2,337	id.	3,077			
24	id.	80,645	7	»	»	»	Correspond à la tension de 690 kil. par fil.
25	14,75	id.	7,153				
26	13	id.	id.				
27	id.	id.	7,230				
28	12,75	id.	id.				
id.	id.	2,337	»	3,346	»	»	Mesure une heure après pour savoir s'il y aurait un retrait pendant cet espace de temps.
id.	id.	id.	»	»	»	»	Correspond à la tension de 700 kil. par fil.
id.	id.	81,814	8,692				

Digitized by Google

Dates.	Température.	Tension par millimètre quarré de section.	Allongement par mètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive.	Différence par 10 kil. par allongements sous les tensions		OBSERVATIONS.
					passagères.	restantes.	
	Degrés.	Kilogram	Millimètr.	Millimètr	Millimètr	Millimètr	
Septem. 29	12,50	id.	9				
30	id.	id.	9,154				
Octobr. 1er	13,50	id.	id.	•	2,770		
id.	id.	2,337	•	5,077	•	1,731	
id.	id.	82,281	•	•	•	•	Le fil a cassé sous cette tension qui correspond à 70 kil. avant qu'on ait le temps de mesurer l'allongement.

Il résulte de ce tableau dans cette première expérience : 1° que quoique les allongements augmentent avec les tensions, cependant ils ne suivent pas une loi exacte (1) ; 2° que ces allongements augmentent avec rapidité après une tension qui s'élève aux $\frac{5}{7}$ de celle qui fait rompre ; 3° que quoique le fil mis en expérience ait supporté pendant cent jours des efforts considérables, il a présenté une résistance supérieure à la moyenne de la masse dont il a été tiré, cette moyenne étant de 690 kilogrammes ; 4° que l'allongement restant est à peu près le tiers de celui produit par la tension passagère.

La position du point de rupture m'ayant permis de mesurer sur l'un des bouts une longueur égale à celle que j'avais mesurée d'abord, j'ai remis ce bout en expérience, dont le tableau ci-dessus donne le détail.

(1) On dira peut-être que si je n'en ai pas reconnu, c'est que ma méthode d'observations n'était pas assez exacte, et que j'aurais dû employer celle dont M. Vicat s'est servi ; à cela je répondrai : 1° qu'avant de ramener mon fil à 20 kil. de tension, j'aurais eu besoin d'une romaine qui indiquât des poids depuis 20 jusqu'à 800 kil., et que je n'en possédais pas ; 2° que la preuve que mes observations sont exactes, c'est que cette loi, que je n'ai pas trouvée dans cette première expérience, je l'ai rencontrée et presque sans aucune anomalie, dans les suivantes ; je dois donc supposer que cette absence de loi tient à une autre cause, et si je pouvais hasarder une opinion, sans avoir de preuves bien certaines à l'appui, je dirais que la première fois que l'on tend un fil, il s'y redresse des inflexions invisibles à l'œil, qui résistent à de certains efforts, et finissent par céder tout à coup à des efforts plus grands ; de là les ressauts qu'on observe dans les allongements.

Digitized by Google

DEUXIÈME ESSAI DU MÊME FIL.

Dates.	Température.	Tension par millimètre quarré de section.	Allongement par mètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive.	Différence par 10 kil. des allongements sous les tensions		OBSERVATIONS.
					passagères.	restantes.	
	Degrés	Kilogram	Millimètr	Millimètr.	Millimètr.	Millimètr	
Octobr. 0	12	2,337	•	•	•	•	Correspond à 20 kilogr. par fil; c'est sous cette tension que j'ai pris ma mesure.
id.	id.	11,688	0,092	•	•	•	Correspond à 100 kil. par fil.
7	12	id.	0,769				
8	13,50	id.	id.				
9	14,25	id.	id.	•	0,769		
id.	id.	2,337	•	0,230	•	0,230	
id.	id.	17,531	1,077	•	•	•	Correspond à 150 kil. par fil.
10	13,50	id.	id.				
11	12,50	id.	id.	•	0,308		
id.	id.	2,337	•	0,384	•	0,154	
id.	id.	23,375	1,384	•	•	•	Correspond à 200 kil. par fil.
12	11	id.	1,462				
13	11,50	id.	id.	•	0,385		
id.	id.	2,337	•	0,384	•	•	Anomalie.
id.	id.	29,219	1,692	•	•	•	Correspond à 250 kil. par fil.
14	id.	id.	1,846				
15	11	id.	1,923				
16	11,25	id.	id.				
17	10,25	id.	id.	•	0,461		
id.	id.	2,337	•	0,538	•	0,154	
id.	id.	35,063	2,076	•	•	•	Correspond à 300 kil. par fil.
18	11	id.	2,230				
19	10,25	id.	2,308				
20	10	id.	id.				

Digitized by Google

Dates.	Température.	Tension par millimètre quarré de section.	Allongement par mètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive.	Différence par 10 kil. des allongements sous les tensions		OBSERVATIONS.
					passagères.	restantes.	
	Degrés.	Kilogram.	Millimetr.	Millimetr.	Millimetr.	Millimetr.	
Octobre. 21	12,50	35,063	2,306				
22	11,25	id.	id.				
23	11	id.	id.	»	0,385		
id.	id.	2,337	»	0,538	»	»	La différence de 0,077 correspondant à un allongement d'un dixième de millimètre sur ma masse ; il est possible qu'on ait commis cette erreur.
id.	id.	40,907	2,462	»	»	»	Correspond à 330 kil. par fil.
24	10	id.	2,015				
25	id.	id.	2,760		»		
26	9	id.	id.	»	0,461		
id.	id.	2,337	»	0,615	»	0,077	
id.	id.	46,750	2,922	»	»	»	Correspond à 400 kil. par fil.
27	8,25	id.	3,077				
28	7,75	id.	3,154				
29	6	id.	id.	»	0,385		
id.	id.	2,337	»	0,692	»	0,077	
id.	id.	52,594	3,230	»	»	»	Correspond à 450 kil. par fil.
30	4,25	id.	3,307				
31	3,25	id.	id.	»	0,153	»	Il est probable que la diminution d'allongement tient à l'abaissement de la température.
id.	id.	2,337	»	0,769	»	0,077	
id.	id.	58,458	3,384	»	»	»	Correspond à 500 kil. par fil.
Novem. 1er	3	id.	3,615				
2	7	id.	3,792				
3	8,25	id.	id.	»	0,385		
id.	id.	2,337	»	0,769	»	»	Même remarque que ci-dessus.
id.	id.	64,282	3,840	»	»	»	Correspond à 550 kil. par fil.
4	9	id.	4				

Digitized by Google

Dates.	Température.	Tension par millimètre quarré de section.	Allongement par mètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive.	Différence par 50 kil. des allongements sous les tensions		OBSERVATIONS.
					passagères.	restantes.	
	Degrés.	Kilogram	Millimètr.	Millimetr.	Millimetr.	Millimètr.	
Novem. 5	9,25	64,282	4.077				
6	10	id.	id.	•	0,285		
id.	id.	2,337	•	0,846	•	0,077	
7	id.	70,126	4,230	•	•	•	Correspond à 600 kil. par fil.
8	id.	id.	4,462				
9	id.	id.	id.	•	0,383		
id.	id.	2,337	•	•	•	0,154	
id.	id.	75,967	4,692	•	•	•	Correspond à 650 kil. par fil
10	11	id.	4,846				
11	10	id.	4,923				
12	9,25	id.	id.	•	0,461		
id.	id.	2,337	•	•	•	•	Cela rétablit la serie des differences de 0m,077.
id.	id.	79,476	5,076	•	•	•	Correspond à 650 kil. par fil.
13	id.	id.	5,153				
14	7,75	id.	id.	•	•	•	Je n'indique pas dans la colonne la différence, qui, étant de 0m,320, suit la loi précédente.
id.	id.	2,337	•	1,153			
id.	id.	81,814	5,230	•	•	•	Correspond à 700 kil. par fil.
15	10,50	id.	5,384				
16	11	id.	5,461				
17	id.	id.	5,538				
18	id.	id.	id.	•	0,615		
id.	id.	2,337	•	1,307	•	0,154	
id.	id.	82,952	6,692	•	•	•	Correspond à 710 kil. par fil. Le fil a cassé pendant la nuit.

Ce second tableau nous fait connaître dans cette seconde expérience: 1° que les allongements sont exactement proportionnels aux tensions,

Digitized by Google

sauf quelques légères anomalies; 2° que ceux restants suivent la même loi, et sont à peu près le cinquième des précédents; 3° que les allongements sous les tensions passagères sont à peu près les mêmes qu'à la première expérience, mais que les allongements restants, quand on ramène le fil à la tension primitive, sont moitié moins grands; 4° enfin que le fil déjà cassé et ayant éprouvé précédemment des tensions considérables pendant cent jours, en a supporté d'aussi grandes et pendant quarante-trois jours sans rien perdre de sa force totale.

J'ai pu mesurer encore une longueur égale aux précédentes sur ce fil (1), et le mettre une troisième fois en expérience.

Voici les résultats que j'ai obtenus.

TROISIÈME ESSAI DU MÊME FIL.

Date.	Température.	Tension par millimètre quarré de section.	Allongement par mètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive.	Différence par 50 kil. des allongements sous les tensions passagères.	Différence par 50 kil. des allongements sous les tensions restantes.	OBSERVATIONS.
	Degrés.	Kilogram.	Millimètr.	Millimètr.	Millimètr.	Millimètr.	
Novem. 20	5,50	2,337	»	»	»	»	Correspond à 20 kil. par fil. J'ai pris la mesure sous cette tension.
id.	id.	11,688	0,615	»	»	»	Correspond à 100 kil. par fil.
21	8	id.	0,769				
22	7	id.	id.	»	0,769		
id.	id.	2,337	»	0,154	»	0,154	
id.	id.	17,531	0,923	»	»	»	Correspond à 150 kil. par fil.
23	5,25	id.	1				
24	5,50	id.	id.	»	0,231		
25	8	2,337	»	0,154	»	»	J'ai laissé reposer le fil pendant cinq jours.
30	5	id.					
id.	id.	17,531	0,769				
id.	id.	23,375	0,846	»	»	»	Correspond à 200 kil. par fil.

(1) Cela tient à ce qu'il s'est cassé à la ligature supérieure, comme cela arrive souvent.

Digitized by Google

Dates.	Température.	Tension par millimètre quarré de section.	Allongement par mètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive.	Différence par 50 kil. des allongements sous les tensions		OBSERVATIONS.
					passagères.	restantes.	
	Degrés.	Kilogram.	Millimètr.	Millimètr.	Millimètr.	Millimètr.	
Décem. 1er	3,50	23,375	0,923				
2	2,75	id.	id.	»	»	»	L'anomalie provient-elle d'un retrait lent, ou de l'abaissement de la température ? Je l'ignore.
id.	id.	2,337	»	0,231	»	0,077	
id.	id.	29,219	1,384	»	»	»	Correspond à 250 kil. par fil.
3	id.	id.	id.	»	0,461	»	La loi de la deuxième expérience reprend son cours.
id.	id.	2,337	»	0,231			
id.	id.	35,063	1,615	»	»	»	Correspond à 300 kil. par fil.
4	2,50	id.	1,692				
5	3	id.	1,769				
6	id.	id.	id.	»	0,385		
id.	id.	2,337	»	0,231			
id.	id.	40,907	2,000	»	»	»	Correspond à 350 kil. par fil
7	2	id.	2,077				
8	0	id.	2,154				
9	id.	id.	id.	»	0,385		
id.	id.	2,337	»	0,231			
id.	id.	46,750	2,384	»	»	»	Correspond à 400 kil. par fil
10	4,50	id.	2,422				
11	4,50	id.	2,539				
12	5,75	id.	id.	»	0,385		
id.	id.	2,337	»	0,308	»	0,077	
id.	id.	52,594	2,692	»	»	»	Correspond à 450 kil. par fil.
13	id.	id.	2,846				
14	6,50	id.	2,923				
15	7	id.	id.	»	0 385		
id.	id.	2,337	»	0,308	»	0	

Digitized by Google

Dates.	Température.	Tension par millimètre quarré de section.	Allongement par mètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive.	Différence par 10 kil. des allongements sous les tensions		OBSERVATIONS.
					passagères.	restantes.	
	Degrés	Kilogram.	Millimètr.	Millimètr.	Millimètr.	Millimètr.	
Décem. 15	7	58,438	3,134				
16	7,50	id.	3,231	»	»	»	Correspond à 500 kil. par fil.
17	4,50	id.	id.	»	0,308		
id.	id.	2,337	»	0,384	»	0,076	
id.	id.	64,282	3,384	»	»	»	Correspond à 550 kil. par fil.
18	7	id.	3,539				
19	id.	id.	id.	»	0,308		
id.	id.	2,337	»	0,384	»	0	
id.	id.	70,126	3,846	»	»	»	Correspond à 600 kil. par fil.
20	10	id.	3,923				
21	9	id.	4				
22	10	id.	4,077	»	0,538		
23	10,75	id.	id.				
id.	id.	2,337	»	0,384	»	0	
id.	id.	75,967	»	»	»	»	Correspond à 650 kil. par fil. Le fil a cassé sous ce poids.

On peut remarquer dans ce troisième tableau et dans cette troisième expérience, 1° que pour les tensions passagères la loi d'allongement est sensiblement la même qu'à la précédente, mais que les différences sont un peu plus faibles ; 2° que les différences d'allongements restants ne sont plus que moitié de ce qu'elles étaient pendant le deuxième essai, c'est-à-dire que ces allongements diminuent toujours ; 3° que le fil cette fois a supporté beaucoup moins que la moyenne (1) ; 4° que sous les tensions passagères, voisines de celle qui a fait rompre, l'allongement a encore crû rapidement comme dans les essais précédents.

(1) D'après l'expérience suivante, on serait tenté de croire que ce résultat est une anomalie produite par quelque cause étrangère ; mais quelle est cette cause? Je ne puis le deviner.

Digitized by Google

J'ai pu mesurer encore une fois le fil cassé et le soumettre à une quatrième expérience dont les résultats sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

QUATRIÈME ESSAI DU MÊME FIL.

Dates.	Température.	Tension par millimètre quarré de section.	Allongement par mètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive.	Différence par 10 kil. des allongements sous les tensions		OBSERVATIONS.
					passagères.	restantes.	
	Degrés.	Kilogram.	Millimètr.	Millimètr.	Millimètr.	Millimètr.	
Décem. 24	10,75	2,337	»	»	»	»	Correspond à 20 kil. : on a mesuré sous cette tension.
id.	id.	11,688	0,462	»	»	»	Correspond à 100 kil. par fil.
25	8	»	id.	»	0,462		
id.	id.	2,337	»	0	»	0	
26	id.	17,531	0,538	»	»	»	Correspond à 150 kil. par fil.
27	11	id.	0,615	»	0,153	»	Anomalie.
id.	id.	2,337	»	0,077	»	0,077	
id.	id.	23,275	0,846	»	»	»	Correspond à 200 kil. par fil.
28	10	id.	0,923				
29	id.	id.	id.	»	0,308	»	La loi reprend son cours.
id.	id.	2,337	»	0,154	»	0,077	
id.	id.	29,219	1,077	»	»	»	Correspond à 250 kil. par fil.
30	4	id.	1,154				
31	7,50	id.	1,231				
Janvier. 1840. 1er	8	id.	1,308				
2	7	id.	id.	»	0,385		
id.	id.	2,337	»	0,154	»	0	
id.	id.	35,063	1,615	»	»	»	Correspond à 300 kil. par fil.
3	6,50	id.	1,692				
4	7,50	id.	1,769	»	0,461		
5	7,25	id.	id.				

Digitized by Google

Dates.	Température.	Tension par millimètre quarré de section.	Allongement par mètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive.	Différence par 50 kil. des allongements sous les tensions		OBSERVATIONS.
					passagères.	restantes.	
	Degrés.	Kilogram.	Millimètr.	Millimètr.	Millimètr.	Millimètr.	
Janvier. 5	7,25	2,337	•	0,231	•	0,077	
id.	id.	40,907	1,769	•	•	•	Correspond à 350 kil. par fil.
6	4	id.	1,846				
7	1	id.	1,923	•	•	•	Anomalie.
8	0,50	id.	id.	•	0,154		
id.	id.	2,337	•	0,231			
id.	id.	46,750	1,923	•	•	•	Correspond à 400 kil. par fil.
9	1,50	id.	2				•
10	3,00	id.	id.	•	0,077	•	Anomalie. Est-elle causée par le froid?
id.	id.	2,337	•	0,308	•	0,077	
id.	id.	52,594	2,077	•	•	•	Correspond à 450 kil. par fil.
11	1,75	id.	2,231				
12	2,00	id.	2,308				
13	2,25	id.	id.	•	0,308		
id.	id.	2,337	•	0,308	•	0	
id.	id.	58,438	2,462	•	•	•	Correspond à 500 kil. par fil.
14	1	id.	2,616				
15	0,75	id.	2,692				
16	5,25	id.	id.	•	0,384		
id.	id.	2,337	•	0,308	•	0	
id.	id.	64,282	2,769	•	•	•	Correspond à 550 kil. par fil.
17	7	id.	2,846	•	•	•	Anomalie.
18	6	id.	id.	•	0,154		
id.	id.	2,337	•	0,385	•	0,077	
id.	id.	70,126	2,846	•	•	•	Correspond à 600 kil. par fil.
19	6,25	id.	2,923				

Digitized by Google

Dates.	Température.	Tension par millimètre quarré de section.	Allongement par mètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive.	Différence par 10 kil. des allongements sous les tensions passagères.	Différence par 10 kil. des allongements sous les tensions restantes.	OBSERVATIONS.
	Degrés.	Kilogram.	Millimetr.	Millimetr.	Millimetr.	Millimétr	
Janvier. 20	8,73	70,126	3				
21	8	id.	3,077				
22	8,75	id.	id.	•	0,231	•	Continuation des anomalies. A dater du 1er janvier ce n'est plus moi qui ai pris les mesures.
id.	id.	2,337	•	0,462	•	0,077	
id.	id.	75,967	3,231	•	•	•	Correspond à 650 kil. par fil.
23	9	id.	3,384				
24	id.	id.	3,462				
25	id.	id.	3,538				
26	id.	id.	3,615				
27	6,75	id.	id.	•	0,538		
id.	id.	2,337	•	0,616	•	0,154	
id.	id.	79,476	3,846	•	•	•	Correspond à 660 kil. par fil.
28	7	id.	4,077				
29	8	id.	4,231	•	•	•	Une heure après le mesurage le fil a cassé; la différence était de 0m,015, quoique la tension fût arrivée à 660 kilogrammes seulement.

Quelles que soient les petites anomalies qui entachent ce tableau, on peut y reconnaître, 1° que les allongements sous les charges passagères semblent décroître encore, mais qu'ils suivent toujours la même loi, c'est-à-dire qu'ils sont proportionnels aux tensions; 2° que les allongegements restants sont plutôt devenus plus grands que plus faibles qu'à l'expérience précédente; 3° que les allongements ont encore beaucoup augmenté sous les tensions voisines de celles qui ont fait rompre; 4° que le fil, dans ce quatrième essai, quoique portant moins que pendant les deux premiers, a présenté une résistance plus grande qu'au troisième, et que cette résistance s'est approchée de la moyenne qui, comme je l'ai dit plus haut, est de 690 kilogrammes pour la masse d'où il a été tiré.

Digitized by Google

La manière dont ce fil s'est brisé ne m'a pas permis de le mettre une cinquième fois en expérience.

Comparaison entre les diamètres et les résistances des fils.

Les fils qui m'avaient été fournis à la Roche-Bernard n'avaient pas exactement les mêmes diamètres; ils variaient entre 0m,003 et 0m,0035. J'ai voulu m'assurer si, entre des limites aussi rapprochées, l'augmentation de diamètre influait sur la résistance, c'est-à-dire si cette résistance diminuait à mesure que le fil s'éloignait des dimensions du n° 18, pour se rapprocher de celle du n° 19; enfin, j'ai voulu savoir s'il existait quelques relations entre les résistances et les allongements.

Le tableau suivant renferme les résultats obtenus.

Diamètre par fils.	Résistance par millimètre quarré de section.	Moyenne de résistance par diamètre.	Allongement avant de rompre par mètre.	Moyenne des allongements par diamètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive un peu avant la rupture.	Moyenne des allongements par diamètre.	OBSERVATIONS.
Millimetr	Kilogram	Kilogram	Millimetres	Millimetr	Millimètres	Millimetr	
3,10	78,13		3,269		1,731		
3,10	80,78	82,77	4,615	4,163	2,769	1,740	
3,10	86,08		4,846		1,692		
3,10	86,08		3,923		0,769		Pour qu'il existe plus de probabilités que l'allongement trouvé ne provient pas du redressement de cosses, je ne compte cet allongement qu'au delà de 500 kil. de tension; les allongements indiqués ne sont donc qu'une fraction des allongements totaux.
3,20	83,27		1		2,692		
3,20	78,30		4,692		2,769		
3,20	78,30		3,769		1,077		
3,20	75,81	77,38	4,154	4,340	2,151	2,232	
3,20	75,81		4,538		3		
3,20	80,78		4,186		3,077		
3,20	73,33		2,692		1		
3,20	73,33		2,692		1,386		

Digitized by Google

Diamètre des fils.	Résistance par millimètre quarré de section.	Moyenne de résistance par diamètre.	Allongement avant de rompre par mètre.	Moyenne des allongements par diamètre.	Allongement restant, le fil ramené à la tension primitive un peu avant la rupture.	Moyenne des allongements par diamètre.	OBSERVATIONS.
Millimètr.	Kilogram.	Millimètr.	Millimètres.	Millimètr.	Millimètres.	Millimètr.	
3,30	82,99		4,759		2,769		Les observations sur les allongements sont nécessairement inexactes, car ils devaient être d'autant plus grands que l'instant de rupture était plus rapproché ; or il était impossible de reconnaître exactement l'instant où ces allongements commenceraient à ne plus suivre la loi ordinaire.
3,30	75,98		3,231		1,385		
3,30	78,38		4,769		1,692		
3,30	85,33		5,385		2,769		
3,30	80,65		4		2		
3,30	75,97	79,189	3,923	4,531	2,077	2,377	
3,30	78,82		2,308		0,077		
3,30	75,97		4,077		2,385		
3,30	84,16		8,077		5,385		
3,30	73,6.		4,769		3,231		
3,35	76,44		4		1,615		
3,35	69,19		4,308		2,615		
3,35	75,98	74,397	5,846	4,866	3,538	2,755	
3,35	75,98		5,308		3,231		
3,40	80,37		3,845		1,846		
3,40	78,17		5,303		3,692		
3,40	75,97		6		3,308		
3,40	73,75	75,651	5,462	5,093	2,769	2,593	
3,40	71,56		5,462		3,077		
3,40	78,17		4,231		1,538		
3,40	71,56		4,345		1,923		
3,45	75,92		4,385		1,538		
3,45	67,37		3,461		1,385		
3,45	73,78	72,158	4,615	4,201	2,500	1,837	
3,45	71,56		4,345		1,923		

Digitized by Google

On peut déjà reconnaître par ce tableau qu'il ne semble exister aucune relation entre les diamètres et les allongements; avant de rien statuer sur celles entre les diamètres et les résistances, il faut consulter le tableau suivant :

Diamètre des fils.	Résistance par millimètre quarré de section.	Moyenne de résistance par diamètre.	Allongement par mètre avant de rompre.	Moyenne des allongements par diamètre.	OBSERVATIONS.
Millimètr	Kilogram.	Kilogram.	Millimètr	Millimètr	
3.20	80,78		4,231		
3.20	78,30		4,615		
3,20	75,81		3,654		
3,20	80,78		4,615		
3,20	83,27	79,539	4,422	4,303	
3 20	78,30		4,615		
3,20	78,29		4,038		
3,20	80,78		4,231		
3,30	75,32		5,192		
3,30	77,14		5,192		
3,30	78,31		4,422		
3,30	78,31	77,81	3,846	4,758	
3,30	80,64		5,365		
3,30	78,31		4,422		
3,30	73,64		4 846		
3,35	78 25		4,231		
3,35	73,98		4,231		
3,35	77 12		4,385		
3,35	77,12	75,033	3,846	3,808	
3,35	69,15		3,769		
3,35	72,58		2 385		

Digitized by Google

Diamètre des fils.	Résistance par millimètre quarré de section.	Moyenne de résistance par diamètre.	Allongement par mètre avant de rompre.	Moyenne des allongements par diamètre.	OBSERVATIONS.
Millimètr.	Kilogram.	Kilogram.	Millimètr.	Millimètr.	
3,40	70,46		1,538		
3,40	71,56		2,118		
3,40	69,36		4,038		
3,40	73,76		3,654		
3,40	80,41		2,884		
3,40	82,35		3,654		
3,40	74,86		3,846		
3,40	80,37	74,380	4,615	3,440	
3,40	73,76		3,654		
3,40	71,56		3,846		
3,40	73,77		3,846		
3,40	73,76		3,000		
3,40	73,76		4,385		
3,40	71,58		3,077		
3,45	69,23		3,077		
3,45	73,78		4,769		
3,45	72,34	71,76	1,923	3,500	
3,45	71,69		4,231		

En comparant les résultats donnés par ce tableau, avec ceux qu'on trouve dans le précédent, il est impossible de ne pas reconnaître que la résistance diminue en même temps que le diamètre augmente.

Quant à la relation entre le diamètre et l'allongement, le second tableau confirme la remarque que j'ai faite précédemment, qu'il n'en existe aucune.

Comparaison des résistances et des allongements.

Si l'on veut comparer maintenant les résistances avec les allongements,

Digitized by Google

il faut arranger les résultats précédents par groupes de six expériences, en commençant par ceux où les résistances sont plus considérables. On formera de ces groupes le tableau ci-dessous :

Numéro des groupes.	Résistances moyennes par groupe.	Allongement moyen par mètre et par groupe.	OBSERVATIONS.
	Kilogram	Millimètres.	
1	84,70	5,070	Même observation qu'au tableau précédent pour l'exactitude des observations et pour la manière dont elles ont été prises.
2	81,41	4,345	
3	80,537	4,160	
4	78,406	4,205	
5	78,268	4,314	
6	77,347	4,151	
7	75,98	4,128	
8	75,69	4,423	
9	73,77	4,333	
10	73,38	3,564	
11	71,85	3,571	
12	70,62	3,160	

Je ne pense pas qu'on puisse reconnaître dans ce tableau aucune relation entre les résistances et les allongements (1).

(1) J'ai déjà annoncé, dans l'article des Annales que j'ai cité plus haut, que les résultats qu'il me restait à publier étaient plus curieux qu'utiles; je n'ai pas cru cependant devoir les passer sous silence.

Digitized by Google

CHAPITRE IX.

Calculs d'établissement du pont.

Presque toutes les formules employées, sauf une seule, étant celles de M. Navier, ou déduites des siennes, ce chapitre n'apprendra que peu de choses au lecteur; cependant il aura l'avantage de réunir toutes celles dont on a ordinairement besoin pour l'établissement d'un pont suspendu; il justifie d'ailleurs les principales dimensions que j'ai adoptées :

1° *Poids du tablier par mètre courant.*

Poids des câbles.	400*74
Poids des fers et bois.	1039,26
Poids d'épreuve.	1180,00
Total.	2620,00

2° *Tension des fils sous le poids seul des câbles placés suivant une flèche provisoire de* 14,30.

Lignes trigonométriques. . .
$$\begin{cases} \text{tang. } \alpha = \dfrac{28,60}{96,586} = 0,2961 ; \\ \cos. \alpha = \dfrac{1}{\sqrt{1+0,08767521}} = 0,9588. \end{cases}$$

Digitized by Google

Tension horizontale (1) $Q = \frac{ph^2}{2f} = \frac{400,74 \times 9328,85}{28,60} = 122171,30.$

Tension horizontale suivant le 1er élément de câble (2) $R = \frac{Q}{\cos. \alpha} = \frac{122171,30}{0,9588} = 127421,00$

Les câbles sont composés de 5632 fils ; cela fait par fil. 22,62
Chaque fil a une section de $9^{m\,m}$,08 ; cela fait par millimètre quarré. 2,49

3° *Tension sous le poids de la construction avec une flèche de* 15^m,20.

Lignes trigonométriques. . . . . $\begin{cases} \text{tang. } \alpha = \frac{30,40}{96,586} = 0,3147 \\ \cos. \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,0993609}} = 0,9577 \\ \sin. \alpha = \text{tang. } \alpha \times \cos. \alpha = 0,3147 \times 0,9577 = 0,3014. \end{cases}$

Tension horizontale $Q = \frac{1440 \times 9328,85}{30,40} = 441892,89$

Tension suivant l'élément $R = \frac{441892,89}{0,9577} = 461410,56$,

ce qui donne une tension

Par fil de. 81,93
Par millimètre quarré de section de. 9,02

4° *Tension sous le poids d'épreuve.*

Tension horizontale $Q = \frac{2620 \times 9328,85}{30,40} = 803999,57$

Tension suivant l'élévation $R = \frac{803999,57}{0,9577} = 839510,88$

ce qui donne une tension

Par fil de. 149,06
Par millimètre quarré de. 16,41

5° *Tension des câbles d'amarre.*

Le nombre de fils dont ils sont composés étant de 5,696, cela donne

Par fil. . . . . $\begin{cases} \text{sous le poids de la construction. . .} & 81,06 \\ \text{sous celui d'épreuve. . . . . .} & 147,39 \end{cases}$

Digitized by Google

Par millimètre quarré.	sous le poids de la construction. . .	8,92
	sous celui d'épreuve.	16,23

6° *Longueur de la courbe sous le poids seul des câbles avec une flèche de* 14,30.

$$(3) \qquad 2c = 2h\left(1 + \frac{4f^2}{6h^2}\right)$$

c étant le demi-arc, h la demi-corde et f la flèche, d'où

$$2c = 193,17\left(1 + \frac{4 \times 204,49}{6 \times 9328,85}\right) = 195,99 \text{ (1)}.$$

7° *Vérification de la flèche provisoire donnée aux câbles.*

Après la pose du pont, la flèche des câbles de retenue diminuera, et en conséquence la longueur de ces câbles, il s'ensuivra que l'arc parabolique de suspension augmentera d'autant.

Le raccourcissement des câbles de retenue est donné par la formule

$$(4) \qquad \delta = \frac{\sigma^2 a^3}{24Q^2} \times \left(1 - \frac{p^2}{(p+\pi)^2}\right),$$

dans laquelle

σ = le poids d'unité de longueur des câbles = 400k,74.
a = la distance horizontale entre les extrémités des câbles de retenue = 53,218 (2).
Q = 122171,30.
$p + \pi = 1440$.

D'où

$$\delta = 0,0675 \times 0,92256 = 0,0627.$$

La pose du tablier raccourcira donc chaque câble de retenue de 0,0627, et allongera par conséquent celui de suspension de 0,1254.

Ce câble s'allongera encore par l'extension provenant de la surcharge de

(1) J'ai supposé que le câble affecte la forme d'une parabole, ce qui n'est pas rigoureusement vrai, mais l'erreur qui en résulte est peu considérable.

(2) Cette ligne a été trouvée en divisant la hauteur d'un support par tang. α.

Digitized by Google

59k,31 par fil; cette extension sera donc, pour les 372 mètres de longueur entre les amarres, de 0,1097.

L'allongement total sera donc de 0,2331, et la nouvelle longueur de l'arc de

$$195,99+0,2331=196,2251.$$

La formule

$$(5) \qquad f=\sqrt{\frac{3}{2}h(c-h)}$$

fait connaître à quelle flèche correspond cette longueur d'arc; nous aurons donc pour la flèche, sous le poids de la construction,

$$f=\sqrt{\frac{3}{2}\times 96,585\times 1,527}=14,87.$$

Sous la charge d'épreuve δ formule (4) devient,

$$\delta=0,0675\times 0,977=0,0659$$

L'allongement du câble de suspension, égal au raccourcissement des câbles de retenue, sera donc de 0,1318. Celui provenant de l'extension des fils sons la surcharge de 126,44 par fil, de

$$\frac{\frac{126,44}{908}\times 0,0372}{2}=0,2587.$$

Le câble de suspension aura donc une longueur de

$$195,99+0,1318+0,2587=196,3805.$$

La formule (5) donne pour la flèche

$$f=\sqrt{\frac{3}{2}\times 96,585\times 1,605}=16,24.$$

Quand la charge d'épreuve sera enlevée, la flèche des câbles de retenue augmentant de 0,0064, le retrait dû à l'élasticité des fils diminuant la

Digitized by Google

longueur des câbles, d'après mes expériences consignées dans les Annales, de 0,0572, la longueur des câbles de suspension descendra donc définitivement à

$$196,3805 - 0,0064 - 0,0572 = 196,3169,$$

ce qui donne pour flèche formule (5),

$$f = \sqrt{\frac{3}{2} \times 96,585 \times 1,573} = 15,09.$$

On voit que je m'étais tenu à $0^m,11$ trop haut, parce que je supposais qu'à une température un peu élevée, la flèche augmenterait de cette quantité.

Le nivellement fait après l'épreuve a donné pour flèche 15,02; le thermomètre marquant + 5° au-dessus de 0.

Un autre nivellement fait le 20 juin, le thermomètre marquant + 18°, a donné pour flèche $15^m,155$ (1).

8° Équations des courbes du câble et du tablier, et calcul des tiges.

Si les câbles doivent former un arc de parabole ayant pour axe des abscisses, une ligne horizontale AB (Pl. II, *fig.* 14) qui lui soit tangente, et pour axe des ordonnées une ligne verticale passant par le sommet de l'arc, son équation sera de la forme

$$y = ax^2.$$

Pour déterminer le coefficient a, il faut observer que, lorsque

$$x = 96,585 \quad \text{on a} \quad y = 15,20,$$

on en tire

$$a = 0,00162964 \quad \text{et} \quad y = 0,00162964\, x^2,$$

ce qui donne toutes les longueurs de tiges au-dessus de la ligne AB.

J'ai adopté pour le tablier la forme d'un arc de cercle, comme plus gracieuse que celle d'une parabole renversée qu'on lui donne ordinairement.

(1) A 5 degrés au-dessous de zéro cette flèche s'est réduite à $14^m,81$

Digitized by Google

Pour en déterminer l'équation, il faut d'abord remarquer qu'elle est de de cette forme,

$$y^2+2my=n-x^2,$$

l'axe des abscisses étant c D.

Mais, comme à la valeur de $y=o$ correspond celle de $x=96,285$, et qu'à celle de $y=1,32$ correspond celle de $x=o$, on obtient les deux équations

$$n=9270,8012 \qquad 1,7324+2\times 1,32m=9270,8012 \qquad \text{d'où} \qquad m=3511,0712,$$

d'où enfin,

$$y=-3511,0712+\sqrt{12330891,7727-x^2}.$$

Au moyen de cette équation, on calculera les ordonnées du cercle, en ajoutant à celles de la parabole les différences entre A C et les premières, on aura les longueurs totales des tiges.

9° Force des tiges de suspension et des étriers.

Les tiges ont une section de $683^{mm},60$ carrés; elles ont à porter pendant l'épreuve un poids de $1,427^{k},27$; c'est donc $2^{k},09$ par millimètre carré de section.

Les étriers, d'après leurs dimensions, ne portent que la moitié du poids précédent.

10° Force des goujons d'assemblage des câbles d'amarre et de suspension.

L'épaisseur de ces goujons est de $0^{m},07$; la distance entre les points d'appui sur les croupières des câbles de suspension est de $0^{m},05$.

Dans la formule (6)

$$f=\frac{mab^2}{2c},$$

m représente la force de cohésion du fer, c'est-à-dire le nombre de kilogrammes par millimètre carré de section nécessaire pour faire rompre une barre de fer tirée dans le sens de sa longueur: a la dimension perpendiculaire à la traction, b celle située dans le sens de ladite traction,

Digitized by Google

c la distance entre le point où elle s'exerce et l'un des points d'appui. Dans le cas particulier qui nous occupe, nous avons donc $m = 40$, le fer étant extrêmement doux,

$$a = 70, \quad b = 70, \quad c = 25,$$

le millimètre étant pris pour une unité, la formule (6) devient

$$f = \frac{40.343000}{50} = 234,400 \text{ kilog.},$$

poids sous lequel le goujon doit rompre.

Or, chacun d'eux n'a à résister qu'à $\frac{1}{11}$ de la tension totale, ou à 26,334 kilog.

11° *Force des poutrelles et des madriers du plancher.*

D'après la longueur des madriers, les charges passagères sont reportées au moins sur sept poutrelles; crainte d'erreur, je supposerai sur trois seulement.

Dans la formule (7)

$$f = \frac{mab^2}{3c} \text{ (1)},$$

on a

m résistance du bois de sapin du Nord $= 8$, $a = 200$, $b = 420$, $c = 3260$,

d'où

$$f = \frac{8.200.176400}{9660} = 29217;$$

et pour trois poutrelles 87,651 kilogrammes. Or le plus grand poids que la longueur de pont correspondante peut avoir à supporter est celle de deux voitures de 8000 kilogrammes chacune, plus celui du plancher recouvert d'une foule serrée, en supposant que le dessus de la voiture en fût chargé, ou 8,568 kilogrammes, ce qui fait un total de 16,568 kilog.

(1) Je prends pour dénominateur $3c$ pour compenser les défauts du bois, comme gerçures, etc. Ces formules ne m'ont jamais trompé.

Digitized by Google

Pour évaluer la force des madriers, je ne compterai le plancher supérieur que comme reportant les charges sur tons également.

La même formule (7) donne, quand

$$a=4670, \quad b=90, \quad c=545,$$
$$f=\frac{8.476.08100}{1635}=188647;$$

le poids que les charges passagères peuvent faire supporter aux madriers sur l'espace donné, ne peut s'élever qu'à 18,885 kilogrammes en le calculant comme ci-dessus.

12° Poids porté par les cylindres placés sur les portiques.

La formule qui donne la composante verticale, pour une seule tête du pont, est

$$v=\frac{Q\,\text{tang.}\,\alpha+12\,\text{sin.}\,\omega}{2}. \tag{8}$$

Ici l'on a

$$Q=803999,57, \quad R=839510,88, \quad \text{tang.}\,\alpha=0,3147, \quad \text{sin.}\,\omega=\text{sin.}\,\alpha=0,3014,$$

d'où

$$v=\frac{253018,66+259328,58}{2}=256173^{k},62.$$

Or, comme le cylindre du milieu porte la moitié du poids, l'effort exercé sur lui est donc de $128,086^{k},81$.

Celui exercé sur chacun des deux autres, est de $64048^{k},40$.

13° Effort exercé sur chaque centimètre carré des maçonneries à différentes hauteurs.

Sur la surface du socle.

Au poids trouvé précédemment, il faut ajouter celui du pilier qu'on peut évaluer en comptant chaque mètre cube de maçonnerie à 2000 kil. à.	5314582k00
Le poids d'un portique, fers compris, à.	1785000,00
Composante précédente.	256173,62
Poids de trois cylindres et de leurs plaques.	5524,00
Total.	7361279,62

Digitized by Google

La surface du socle contient 1302000 centimètres carrés, cela fait par centimètre $5^k,65$.

La surface supérieure d'un pilier étant de 609900 centimètres carrés, et la somme des trois derniers nombres étant de 2046697,62, chaque centimètre porte $3^k,36$.

14° *Mouvements sous divers chocs.*

Je suppose que l'essieu d'une voiture du poids de 6,000 kilogrammes vienne à se briser, ce poids tomberait alors d'une hauteur de $0^m,60$.

Dans la formule (9),

$$y'-y=\frac{v\pi}{2ph}\left(1+\frac{\pi}{8ph}\right)\sqrt{\frac{2f}{g}}.$$

y représente l'ordonnée de la flèche primitive, y' celle de la flèche produite par le choc, v la vitesse acquise du corps choquant, π son poids, p le poids du mètre courant du pont, h la demi-corde, g la force accélératrice donnée par l'expérience $=9,808$.

Or,

$$v=\sqrt{2gH},$$

H étant la hauteur d'où tombe le corps choquant.

Donc

$$v=\sqrt{11,7696}=3,43,\quad \pi=6000,\quad h=96,585,\quad p=1500,$$

le pont portant une charge passagère $f=15,20$,
d'où,

$$y-y'=\frac{3,43.600}{3000.96,585}\left(1+\frac{6000}{8.1500.96,585}\right)\sqrt{\frac{30,40}{9,808}}=0,103.$$

Ainsi le pont pourrait fléchir de 0,103 en son milieu; or, comme il fléchit de $0^m,37$ sous la charge d'épreuve, l'effet produit n'est donc qu'à peu près le quart du premier.

Il faut observer d'ailleurs que cette augmentation de flèche ne produit pas l'allongement correspondant sur les câbles, mais qu'elle est due principalement au changement de forme de la courbe.

Digitized by Google

L'accident qui peut arriver le plus souvent, est celui résultant de ce que la roue d'une voiture pourrait monter sur le trottoir et retomber sur le plancher.

Dans ce cas, on a $V = 1,534$, et la formule (9) donne :

$$y - y' = 0,032 \times 1,0051 \times 1,448 = 0,046;$$

L'oscillation du pont ne serait donc pas de $0^m,05$.

15° *Formule pour trouver le diamètre d'un câble composé d'un nombre quelconque de fils d'un même numéro.*

Si on place autour d'un fil d'un numéro quelconque, six autres fils d'un même diamètre, ces derniers formeront entre eux un hexagone régulier, composé de fils tangents entre eux et au premier.

Si on en place d'autres autour de ceux-ci, ils formeront un second hexagone régulier, composé de 12 fils tangents entre eux et aux premiers, le diamètre du cercle circonscrit à cet hexagone sera égal à la somme des diamètres de 3 fils, *voyez* planche II, *fig.* 17 (1).

En continuant de la même manière, on verra que les nombres des fils des diamètres formeront une progression arithmétique croissante, dont la différence est 2, c'est-à-dire, celle des nombres impairs 1, 3, 5, 7, etc., et que les divers termes de cette série correspondront à ceux d'une série représentant le nombre de fils composant les divers hexagones inscrits, et dont les termes formeront une autre progression arithmétique croissante dont la différence sera 6; il faut observer seulement que le numéro 1 de cette série correspondra au numéro 2 de la première. Éclaircissons cette remarque par un exemple.

A un diamètre de 7 fils, formant le numéro 4 de la série des diamètres,

(1) Il est évident que des cercles de diamètres égaux et placés par rangs horizontaux les uns au-dessus des autres, comme dans la figure 17, seront tous tangents entre eux, et formeront un hexagone régulier, en effet.

Si, par tous les points de tangence des cercles du rang ab, on élève des perpendiculaires, elles seront distantes entre elles de deux rayons; donc les cercles de deuxième rang tangents à ceux du premier, seront tangents entre eux.

Les triangles aoe et bof seront équilatéraux, donc ao et bf seront égaux au rayon du cercle circonscrit, et comme $ef = ae$, la figure $aefb$ sera la moitié d'un hexagone régulier inscrit au cercle, dont le rayon $= ao$.

Digitized by Google

correspond un hexagone inscrit formant le numéro 3 de la série des hexagones, et composé de 18 fils.

Or, comme la somme des trois premiers termes de cette dernière série est de 36, en ajoutant 1 pour le fil du centre, on obtiendra le nombre 37 pour celui des fils contenus dans l'hexagone inscrit au cercle, dont le diamètre sera égal à sept fois celui du fil du numéro choisi.

On reconnaît sur-le-champ, d'après ce qui précède, la relation qui existe entre le nombre des fils qui forment le diamètre d'un câble, et celui total des fils qui composent ce dernier, en prenant pour sa section l'hexagone inscrit au lieu du cercle, ce qui d'ailleurs ne produit pas d'erreur grave.

Je suppose maintenant qu'on me demande quel est le diamètre d'un câble composé de 91 fils d'un diamètre d? (Il est clair qu'aucun calcul ne s'appliquerait à un câble formé de fils de diamètres inégaux.)

Je retrancherai d'abord le fil du centre, et il me restera 90 pour la somme de n, termes d'une progression arithmétique, dont la différence est 6.

Pour déterminer n, l'algèbre de Lacroix me donne les deux équations,

$$l = a(n-1)\delta \quad \text{et} \quad S = \frac{(a+l)n}{2},$$

dans lesquelles l ou le dernier terme est inconnu ainsi que n, et où l'on a

$$a = 6, \quad \delta = 6, \quad s = 90.$$

En éliminant l on trouve :

$$6n = \frac{2S - 6n}{n},$$

d'où

$$n^2 + n = \frac{1}{3}s,$$

d'où enfin

$$n = -\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{4s+3}{12}} = -\frac{1}{2} + \sqrt{30{,}25} = 5.$$

Or, comme la somme des termes de la série représentant les diamètres est toujours évidemment égale au double de celui du nombre qui indique

Digitized by Google

le numéro (1) du terme de la série correspondante des hexagones, plus l'unité, en multipliant 5 par 2 et ajoutant l'unité, la somme des 6 premiers termes de la série qui représente les diamètres, sera donc de 11.

Ce nombre, multiplié par le diamètre d d'un fil, donnera celui du câble.

Ce qui précède nous fournit le moyen d'obtenir une formule, qui donne ce diamètre en fonction du nombre des fils qui composent ce câble, et du diamètre de l'un d'eux.

Soit S ce nombre de fils ; d le diamètre de l'un d'eux.

On vient de voir que, pour obtenir le numéro du terme de la série des hexagones, il faut se servir de la formule

$$n = -\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{4s+3}{12}}.$$

En observant qu'il faut substituer S — 1 à S, elle se réduit à

$$n = -\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{4s-1}{12}} \quad (10).$$

Pour obtenir la somme des termes de la série représentant les diamètres, il faut, comme on l'a fait observer précédemment, multiplier par 2, et ajouter l'unité; le nombre de fils du diamètre correspondant au nombre S, sera donc :

$$2\left(-\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{4s-1}{12}}\right) + 1 = 2\sqrt{\frac{4s-1}{12}} = \sqrt{\frac{4s-1}{3}} \quad (11).$$

Multipliant ce nombre par le diamètre d'un fil d, on arrive pour le diamètre D du câble, à cette formule

$$D = d\sqrt{\frac{4s-1}{3}} \quad (12).$$

On peut prendre pour S un nombre qui ne soit pas exactement, un des termes de la série des hexagones ; dans ce cas, si l'on calculait n d'abord

(1) La série des numéros des termes est une progression arithmétique dont la différence est l'unité, la série des diamètres en est une autre dont la différence est 2.

Digitized by Google

au moyen de la formule (10), on trouverait un nombre fractionnaire, dont la partie entière représenterait le numéro du terme de la série que l'on cherche, et l'on en déduit D ; mais, comme le nombre qu'on trouverait de cette manière serait nécessairement trop faible, puisqu'il correspondrait à un nombre de fils un peu moins grand que celui donné, que d'ailleurs la formule ne peut tenir compte des vides produits par le défaut de régularité de l'arrangement des fils dans la pratique, que les expériences qui suivent démontrent que cette irrégularité rend les résultats de la formule (12) elle-même encore un peu faibles, il est convenable de ne pas opérer le retranchement de la partie fractionnaire de n, et prendre ainsi plutôt le terme supérieur que le terme inférieur entre lesquels se trouve le nombre S donné.

Pour m'assurer si l'irrégularité dans l'arrangement des fils ne produit pas une assez grande différence dans les diamètres pour rendre la formule inapplicable, j'ai composé plusieurs faisceaux d'un nombre différent de fils exactement du même diamètre, j'ai mesuré ceux desdits faisceaux et je les ai comparés aux résultats donnés par ma formule :

Nombre de fils.	DIAMÈTRE. mesuré.	DIAMÈTRE. calculé.	OBSERVATIONS.
	1° *Faisceaux de fil d'un diamètre constant de 0m,0035*		
100	0,0404	0,0404	
200	0,0563	0,0571	
300	0,0707	0,0700	
400	0,0808	0,0808	Pour obtenir exactement le diamètre du fil avec les morceaux duquel j'ai composé mes faisceaux, j'ai pesé avec soin plusieurs bouts de plusieurs mètres de longueur ; j'ai déduit le diamètre du poids par mètre courant.
500	0,0917	0,0903	
600	0,1017	0,1000	
800	0,1174	0,1143	
1 000	0,1324	0,1278	
1 500	0,1623	0,1565	
2 000	0,1839	0,1807	
2 500	0,2087	0,2020	
2 800	0,2196	0,2138	

Digitized by Google

Nombre de fils.	DIAMÈTRE mesuré.	DIAMÈTRE calculé.	OBSERVATIONS.
	2e Faisceaux de fils d'un diamètre constant de 0m,00279.		
100	0,0383	0,0322	
200	0,0477	0,0455	
300	0,0605	0,0558	La différence entre les diamètres mesurés et calculés est d'environ $\frac{1}{10}$.
400	0,0689	0,0644	
500	0,0773	0,0760	
1 000	0,1056	0,1019	
1 500	0,1305	0,1248	
2 000	0,1506	0,1441	
2 500	0,1693	0,1612	
3 000	0,1826	0,1764	

Les résultats précédents font voir qu'on peut se servir avec quelque confiance de la formule (12) pour les câbles très-serrés, tels qu'ils le sont principalement dans des gorges où ils s'infléchissent; dans les faisceaux en lignes droites à ligatures lâches ou très-écartées, on conçoit que plusieurs fils peuvent ne pas même se toucher; il n'y a pas de formule applicable à de pareils faisceaux.

Si l'on voulait connaître le nombre de fils qui composent un câble, quand on connaît son diamètre et celui des fils dont il est formé, qui est toujours à peu près donné par son nnméro, il faudrait résoudre l'équation (12) en regardant S comme l'inconnue, on en tirerait :

$$S=\frac{3D^2+d^2}{4d^2}.$$

En observant que d^2 est toujours une très-petite fraction qui n'a de chiffre significatif qu'à la cinquième décimale, cette valeur de S se réduit à

$$S=\frac{3D^2}{4d^2}.$$

Digitized by Google

Cette formule doit nécessairement donner des résultats trop forts, puisqu'elle est tirée d'une autre où S est trop grand, et à cause de l'irrégularité de l'arrangement des fils.

On peut la corriger, au moyen des tableaux précédents, en retranchant un vingtième; on obtiendra de cette manière :

$$S = 0,7125 \sqrt{\frac{D^3}{d^3}} \quad (13)$$

Digitized by Google

CHAPITRE X.

Des limites d'ouverture des ponts suspendus. — Pont de Saint-Malo. — Emploi des câbles en fil de fer pour le transport des matériaux.

Il est évideut qu'il existe une limite au delà de laquelle on ne peut construire de ponts suspendus ; car si on suppose qu'on tende un fil unique sans y suspendre aucun poids, sous une flèche donnée, le facteur h peut devenir assez grand dans l'équation $R = \frac{ph^2}{2f \cos.\alpha}$ pour que R surpasse la force de résistance de ce fil.

K étant la résistance d'un d'eutre eux, n le nombre de ces fils, $\frac{1}{m}$ le rapport entre la flèche et la demi-ouverture, p ou le poids d'unité de longueur étant égal à π ou le poids du mètre courant de tablier chargé de celui d'épreuve, plus celui du mètre courant de câbles ou qn, q étant le poids d'un mètre courant de longueur de fil, on aura :

$$Kn = \frac{(\pi + qn)h^2}{2\frac{h}{m}\cos.\alpha},$$

Digitized by Google

d'où, en résolvant d'abord par rapport à h, ensuite par rapport à n, on obtiendra les deux équations

$$h=\frac{2K\cos.\alpha n}{(\pi+qn)m}\ (1) \qquad \text{et} \qquad n=\frac{2\pi h}{2K\cos.\alpha-mqh}$$

La première équation fait voir que tant que le nombre π sera plus grand que qn, l'augmentation de la valeur de n entraînera celle de la valeur de h; mais que lorsque qn sera plus grand que π, les valeurs des deux termes de la fraction s'approcheront sans cesser d'être dans le même rapport, quelle que soit celle qu'on donne à n, et qu'alors h cessera de croître sensiblement. La deuxième équation donne la limite des valeurs de h; car, dans le cas où

$$2K\cos.\alpha=mqh,$$

ou

$$h=\frac{2K\cos.\alpha}{mq}\ (3),$$

la valeur de n devient infinie, c'est-à-dire qu'il faudrait un nombre infini de fils pour une demi-ouverture égale à

$$\frac{2K\cos\alpha}{mq}.$$

Si l'on supposait $\pi=0$, c'est-à-dire un câble auquel aucun poids ne serait suspendu, la première équation se réduirait à $h=\frac{2K\cos.\alpha}{mq}$; ainsi l'ouverture qu'on peut donner est indépendante du nombre de fils employés, et cela est vrai, en effet, car plusieurs fils abandonnés à leur propre poids ne résistent pas plus qu'un seul.

La deuxième équation confirme le même résultat; car dans le cas où $h=\frac{2K\cos.\alpha}{mq}$, elle donne $n=\frac{0}{0}$, qui est le symbole de l'indéterminé.

Appliquons maintenant ces résultats à des nombres.

Supposons que les fils employés soient ceux du numéro 18, et que le rapport entre h et f soit $\frac{1}{5}$; dans ce cas, la résistance d'un fil ou K est d'environ 600 kilogrammes; $q=0^k,05716$, et $\cos.\alpha=0^k,961$.

Digitized by Google

Dans le cas où $\pi = o$, l'équation (1) devient :

$$h = \frac{2.600.0^k,961}{5.0^k,05716} = \frac{230,64}{0^k,05716} = 4035.$$

C'est-à-dire qu'un pareil fil, placé dans les conditions ci-dessus indiquées, ne se romprait sous son propre poids qu'à la longueur d'environ deux lieues.

Si l'on suspendait à un système de câbles composés de fils semblables un tablier à voie double, pareil à celui du pont de la Roche-Bernard, et qui, chargé du poids d'épreuve, pèserait par conséquent 2,300 kilogr. par mètre courant;

Si l'on admettait qu'il fût impossible d'employer plus de 50,000 fils, et si l'on exigeait que la tension de chacun d'eux, sous le poids d'épreuve, ne dépassât pas le tiers environ de celle qui pourrait les faire rompre; dans ce cas, on aurait $n = 50.000$ et $K = 200$ (1), et l'équation (1) deviendrait :

$$h = \frac{2.200.0,961.50000}{5(2.300 + 0,05716.50.000)} = 683 \text{ mètres.}$$

C'est-à-dire qu'on pourrait construire sans de trop grandes difficultés, et dans de bonnes conditions de stabilité et de durée, un pont en fils de fer d'environ 1.300 mètres d'ouverture, surtout si l'on admettait mon système de fabrication des câbles en place, qui éviterait tous les inconvénients du transport et de la pose, et l'embarras de trouver un emplacement pour les confectionner (2).

Je n'ai pas besoin de remarquer ici qu'un pareil pont ne serait pourtant possible qu'entre deux collines qui permettraient d'établir le pied des supports au-dessus du niveau de la partie inférieure des câbles, comme

(1) Il n'y a rien d'absurde dans ces suppositions, car la tension par millimètre carré ne serait pendant l'épreuve que d'environ 26 à 27 kilogrammes; quant au nombre de fils de fer employés, la formule $D = d\sqrt{\frac{4S-1}{3}}$ que j'ai trouvée dans le chapitre précédent donne pour le diamètre de chaque câble, dans la supposition où l'on en ferait quatre, $0^m,398$, ou environ quarante centimètres.

(2) On doit se rappeler que par ce système, plus les câbles à fabriquer sont grands, plus on s'approche de l'égalité parfaite de tension des fils, puisque les erreurs dans l'établissement des flèches n'augmentant pas, les différences de longueur des fils deviennent de plus petites fractions de la longueur totale.

Digitized by Google

dans la disposition représentée *fig.* 1, planche II ; car on comprend que des supports en maçonnerie d'environ 130 mètres de hauteur, non compris la partie placée au-dessous du niveau du tablier, seraient impossibles à construire.

De tout ce qui précède on peut conclure que les ponts de Fribourg et de la Roche-Bernard, bien loin d'être des monuments gigantesques sous le point de vue de la suspension (1), ne se rapprochent pas même des limites qu'on peut atteindre dans ce genre de construction, et que tout ingénieur qui aura quelque courage ne craindra pas d'exécuter des ponts suspendus de 6 à 700 mètres de portée (2).

Au commencement de 1840, plusieurs notables habitants de Saint-Malo et de Saint-Servan conçurent le projet de construire un pont suspendu à l'embouchure de la Rance, qui a environ 1.000 mètres de largeur en cet endroit. Ce pont devait servir à établir la communication entre les deux villes précitées et le petit port de Dinard, et les riches contrées situées sur la rive gauche.

M. le préfet d'Ille-et-Vilaine et les ingénieurs du même département voulurent bien me consulter à ce sujet. Je me rendis en conséquence à Saint-Malo, où je rédigeai un rapide avant-projet dont je crois devoir donner ici les principaux détails (3), qui pourront offrir quelque intérêt à cause des grandes dimensions du pont projeté.

A peu près au milieu du lit de la Rance, se trouve le rocher de Bizeux (voyez *fig.* 1 et 4, Pl. XII), dont la plus grande partie est recouverte par les plus hautes marées d'équinoxe, qui s'élèvent d'environ 14 mètres en cet endroit, mais sur lequel cependant il est possible d'établir des supports intermédiaires. La mer y est souvent furieuse, et, comme des navires assez haut mâtés remontent jusqu'au port de Dinard, on a calculé que la

(1) Le pont de la Roche-Bernard est en effet gigantesque, mais seulement par ses maçonneries.

(2) Je ne veux pas dire que dans ce cas il n'aurait pas à donner bien des preuves d'activité et de courage, qu'il ne passerait pas bien des jours sans repos et plus d'une nuit sans sommeil ; mais telle est l'histoire de tous les ingénieurs qui entreprennent un travail capable d'ajouter à leur réputation ; ceux qui voudraient faire marcher de front leurs plaisirs, leurs affaires personnelles et leurs travaux, doivent se résigner aux entreprises médiocres, et ils n'auront jamais le bonheur de dire, en montrant un beau monument : C'est moi qui ai fait cela.

(3) Je ne traite ici, et je n'ai examiné à Saint-Malo, que la question d'art, et ne me suis nullement occupé du plus ou moins de convenance de l'emplacement, ni des moyens financiers d'exécution ; ces questions, toutes d'administration, m'étaient étrangères.

Digitized by Google

hauteur du tablier au-dessus des plus hautes marées ne pouvait pas être moindre que 25 mètres.

Telles sont les principales données du projet; les figures 1 et 2 de la planche XII montrent par quels moyens j'avais proposé d'y satisfaire.

Il était impossible de songer à établir sur le rocher de Bizeux une pile-culée qui aurait eu à supporter d'énormes tractions horizontales; il était également impossible de chercher des amarres solides dans le rocher très-fendillé et peu élevé au-dessus des marées ordinaires. Ces amarres, placées nécessairement au-dessous desdites marées, n'auraient pu être mises à l'abri du contact de l'eau salée qui oxyde le fer avec tant de rapidité.

Je conçus l'idée d'établir deux travées entièrement indépendantes l'une de l'autre, excepté que le support de l'une devait servir d'amarre aux câbles de l'autre, qui l'auraient embrassé en l'entourant; mais pour que ces câbles tendissent le moins possible à renverser ces supports, j'éloignais le plus que je pouvais ces derniers entre eux, c'est-à-dire de 150 mètres, de sorte que c'était à leurs pieds que les câbles de l'autre travée étaient attachés (voyez *fig.* 1 et 2), en les entourant comme je viens de le dire.

Comme la mer, dans les gros temps, devait battre les supports avec fureur, je construisais à leurs têtes des avant-becs qui se prolongeaient sur la pile en courbe de raccordement (voyez *fig.* 3); je cachais l'amarrage de mes câbles dans les talus de ces avant-becs.

Pour traverser l'espace de 150 mètres, compris entre les supports des grandes travées, à qui je donnais 435 mètres d'ouverture, j'établissais un petit pont à deux travées de 75 mètres chacune, dont les tabliers, au lieu d'être suspendus aux câbles, étaient portés par eux; ces câbles s'amarraient dans les socles des grands piliers et dans l'intérieur du massif intermédiaire, en suivant dans ce massif la direction des talus, de sorte que la résultante des efforts exercés ne sortait pas de son pied.

La flèche des câbles devait être de 32 mètres, c'est-à-dire d'à peu près un quatorzième de l'ouverture; la tension par millimètre carré de section sous l'épreuve se serait élevée à 21 kilogrammes. Le tablier ayant à peu près la même forme que celui du pont de la Roche-Bernard, y devait être suspendu au moyen de tiges en fer forgé, de $0_m,04$ de diamètre, inclinées de la même manière pour éviter les oscillations horizontales.

Quant aux amarres sur les rives, elles auraient été exécutées dans le système employé au même pont.

Je n'ai pas besoin de dire qu'aussitôt après la construction des supports,

Digitized by Google

j'aurais construit une passerelle destinée à la fabrication des câbles de suspension en place.

Un projet pareil n'aurait pas entraîné dans de très-grandes dépenses ; il eût exigé :

1°	1,343,420	kil.	de fil de fer, à 1 fr. 10 c. l'un (1).	1,477,762 fr.	
2°	91,500		de fonte, à 40 centimes l'un.	36,600	
3°	93,500		de fer forgé pour tablier et amarres, à 80 centimes l'un. . . .	74,800	
4°	80,000		de fer forgé pour crampons, à 60 centimes l'un.	48,000	
5°	1,085	mètres cubes	de bois de Dantzick ou de Memel, à 80 fr. l'un. . . .	86,800	
6°	12,300	mètres carrés	de peinture ou goudronnage, à 1 fr. l'un.	12,300	
7°	2,150		de dérasement dans le rocher, à 3 fr. l'un.	6,450	
8°	725	mètres cubes	de rocher, à 2 fr. 50 c. l'un.	1,812	50
9°	350		de rocher pour puits ou galeries, à 70 fr. l'un. . . .	24,500	
10°	19,389		de maçonnerie hydraulique, à 15 fr. l'un.	290,835	
11°	9,138		de pierre de taille, taille comprise, à 80 fr. l'un. . .	731,040	
12°	2,288		de moellon piqué, à 25 fr. l'un.	57,200	
13°	12,874	mètres carrés	de ragréage et rejointolement, à 1 fr. 50 c. l'un . .	19,311	
14°	7,706		de piquage de moellon, à 2 fr. 50 c. l'un.	19,265	
15°	47,656	mètres cubes	de remblais pour routes aux abords, à 1 fr. l'un. . .	47,656	
16°	3,000		de maçonnerie pour sujétion de marée seulement, à 3 fr. l'un.	9,000	
17°	24,000	mètres courants	de scellements et rainures, à 2 fr. l'un.	48,000	
18°	5,190	mètres carrés	de perrés, à 1 fr. 20 c. l'un.	6,228	
			Total.	2,997,559 fr.	50
			Somme à valoir.	302,440	50
			Total de la dépense.	3,300,000 fr.	

Un pareil travail, quelque gigantesque qu'il paraisse, est loin encore, on le voit, d'exiger des dépenses inacceptables.

Le plus grand défaut du projet précédent consiste dans la grande élévation des supports placés sur le rocher de Bizeux; pour diminuer cette hauteur (2), j'ai pensé à donner à l'arc parabolique une flèche de 490 mètres, mais de ne pas établir le support à son extrémité (voyez même planche, *fig.* 2).

(1) Tous les prix ci-dessus sont calculés pour le cas où une compagnie se chargerait de l'exécution; si on la confiait à un entrepreneur, il faudrait ajouter un dixième de bénéfice.

(2) On doit remarquer que plus on augmente la dépense des fers et fils de fer en diminuant celle des maçonneries, plus on a de chances de ne pas voir dépasser les prévisions du devis, car la première est exactement appréciable, tandis que l'autre l'est beaucoup moins.

Digitized by Google

Comme la flèche des câbles, dans ce système, a 37 mètres au lieu de 30, je suis forcé à la vérité d'augmenter de 5 mètres la hauteur des supports des rives, mais je diminue de 9m,44 celle des supports intermédiaires qui sont plus élevés; enfin, cette combinaison, qui n'augmente les dépenses que d'environ 200,000 francs, donne les moyens de laisser une hauteur de 26m,56 au lieu de 25 mètres à la partie supérieure du tablier.

Enfin j'avais pensé à relier les deux supports intermédiaires au moyen de deux rangs d'arcades qui auraient rendu ces supports solidaires, comme amarres; mais la dépense supplémentaire eût dépassé 300,000 francs.

Les câbles en fils de fer peuvent encore servir à un usage qui, dans quelques localités, économiserait bien des dépenses.

Je suppose qu'il faille transporter des matériaux d'une rive à l'autre d'une rivière encaissée, il suffirait, dans ce cas, d'établir un câble ayant la forme indiquée dans la figure 5; on placerait les matériaux à transporter dans une balance *b*, portant à son sommet une poulie *p* qui roulerait sur le câble servant ainsi de chemin aérien (1). Il suffirait, sur la rive A, d'abandonner cette balance ainsi chargée à son propre mouvement; l'arc AB serait calculé de manière à ce que les frottements détruisissent à peu près la vitesse acquise sur la première partie de l'arc, pour que la balance arrivât en B avec une vitesse nulle ou peu considérable.

J'ai cherché les moyens de calculer l'arc AB de la chaînette, et en faisant entrer dans mes calculs la considération des changements de forme qu'elle éprouverait pendant le passage de la balance; M. Vallès, un de mes collaborateurs les plus distingués dans le service des fortifications de Paris, et auteur de quelques ouvrages qui ont obtenu l'approbation de plusieurs académies, a bien voulu de son côté s'occuper de la même question et m'a fourni une élégante solution du problème. Il arrive à deux résultats très-curieux, savoir: 1° quelquelles que soient les courbes parcourues, la vitesse acquise du corps roulant, en un point commun donné de ces courbes, est toujours la même; 2° que la tangente de l'angle, que la ligne droite AB, servant de corde, fait avec l'horizontale, est égale au coefficient du frottement, et que cette droite, facile à construire quand on connaîtra ce

(1) Ce sont les voyages de ma balance sur les câbles de ma passerelle provisoire, qui m'ont donné cette idée.

Digitized by Google

coefficient, donnera le point B de la courbe, où la vitesse sera ou nulle ou égale à celle qu'on voudra y obtenir.

Note sur le mouvement d'un corps sollicité à descendre le long d'une courbe en vertu de la seule action de la pesanteur. — Application au transport des poids par des câbles.

Si on voulait traiter cette question dans le cas le plus général, il faudrait supposer que la courbe le long de laquelle le corps descend est une courbe à double courbure; mais pour l'objet que j'ai principalement en vue, cette généralité serait sans utilité. J'admettrai donc, dans ce qui va suivre, que la courbe de descente est plane.

Pour donner aux calculs plus de simplicité, je supposerai que l'axe des x est horizontal, et celui des y vertical; de telle sorte que la direction de ce dernier sera la même que celle de la pesanteur.

J'étudierai d'abord le mouvement du corps, abstraction faite du frottement.

Soit P le poids du mobile; si celui-ci était abandonné librement à l'action de la gravité, il tomberait suivant la verticale, et sa masse serait sollicitée à chaque instant par une force motrice dont l'expression est P; il suit de là qu'en appelant M cette masse, et divisant P par M, on obtiendra pour quotient l'expression de la force accélératrice qui sollicite chacun de ces points, laquelle, comme on sait, est généralement représentée par g, c'est-à-dire par la vitesse qu'acquiert un corps qui tombe après la première seconde de sa chute.

Mais, si au lieu de descendre librement suivant la verticale, le corps en question est forcé de rester sur une courbe, le mouvement suivant cette courbe aura lieu, non plus en vertu de la force accélératrice g tout entière, mais seulement en vertu de la projection de cette force sur la direction du mouvement réel, c'est-à-dire en vertu de la composante de g, suivant la tangente à la courbe.

Il faudra donc, pour obtenir la composante, multiplier g par le cosinus de l'angle que fait la pesanteur avec la tangente, angle qui est ici le même que celui de cette même tangente avec l'axe des y. Or, si on prend la lettre s pour symbole des arcs, on sait que le cosinus dont il s'agit a pour expression l'élément différentiel dy divisé par l'élément différentiel ds: d'où il suit que la composante cherchée est égale à $g.\frac{dy}{ds}$.

Digitized by Google

Quant à la composante de la pesanteur, dans le sens de la normale, elle produit une pression qui est détruite par la résistance même de la courbe, et qui, toutes les fois qu'on fait abstraction du frottement, n'exerce aucune influence sur le mouvement du corps.

Il n'y a donc lieu, dans le cas actuel, qu'à considérer la seule force $g.\frac{dy}{ds}$.

Cela posé, si on désigne par v la vitesse du mobile à un instant quelconque de la chute, l'équation du mouvement s'obtiendra en égalant $g.\frac{dy}{ds}$ à l'expression générale $\frac{dv}{dt}$ de la force accélératrice; on est ainsi conduit à la relation :

$$g\frac{dy}{ds}=\frac{dv}{dt}.$$

Telle est l'équation différentielle du mouvement.

Pour l'intégrer, nous multiplierons les deux membres par ds, ce qui donne :

$$gdy=\frac{dv.ds}{dt}.$$

Mais le rapport de ds à dt n'est autre chose que la vitesse v; on aura donc, en ayant égard à cette remarque.

$$gdy=vdv,$$

qui s'intègre immédiatement et qui donne :

$$gy=\frac{1}{2}v^2+C.$$

C est une constante introduite par l'intégration, et dont la valeur sera déterminée lorsqu'on connaîtra l'état du corps à une époque quelconque du mouvement.

Par exemple, si on sait qu'étant parvenu au point $(x'y')$, le mobile a acquis une vitesse égale à v', on devra avoir :

$$gy'=\frac{1}{2}v'^2+C,$$

équation qui apprend que C est égal à

$$gy'-\frac{1}{2}v'^2.$$

Digitized by Google

Substituant donc cette valeur de C dans l'équation du mouvement, celle-ci prendra définitivement la forme suivante :

$$g(y-y')=\frac{1}{2}(v^2-v'^2).$$

De ce résultat, on déduit cette conséquence importante :

Que la vitesse acquise par le mobile à une époque quelconque du mouvement ne dépend que des quantités constantes y' et v' et de la variable y ; de sorte qu'en passant du point dont l'ordonnée est y' à celui dont l'ordonnée est y, le mobile acquerra constamment la même vitesse v, quelles que soient d'ailleurs les abscisses de ces points, c'est-à-dire, quelle que soit la courbe suivant laquelle le corps soit descendu de la ligne de niveau dont l'ordonnée est y' à la ligne de niveau dont l'ordonnée est y.

Le plus souvent, c'est à l'origine du mouvement que l'état du mobile est connu ; si on désigne par v sa vitesse initiale, et si on transporte l'origine des coordonnées au point de départ, il faudra, pour faire accorder l'équation générale du mouvement avec ces nouvelles suppositions, remplacer respectivement y' par 0 et v' par v_0, ce qui donne :

$$gy=\frac{1}{2}(v^2-v_0^2).$$

Mais il ne faut pas perdre de vue que, sous cette nouvelle forme, la valeur de l'ordonnée y doit toujours être rapportée à un axe horizontal passant par le point de départ du mobile.

Enfin, quand la vitesse initiale est nulle, l'équation se réduit à

$$gy=\frac{1}{2}v^2,$$

et donne immédiatement cette relation, si connue dans les applications de mécanique,

$$v=\sqrt{2gy}.$$

Il n'en est pas du temps que le mobile emploie à passer d'un point à un autre, comme de la vitesse qu'il acquiert. Ce temps dépend essentiellement de la forme de la courbe, c'est ce qu'il est facile de voir ; on a en

Digitized by Google

général entre la vitesse, l'espace parcouru et le temps, la relation suivante :

$$v = \frac{ds}{dt}.$$

Mettant dans cette équation la valeur trouvée ci-dessus pour v, elle devient :

$$\sqrt{v_0^2 + 2gy} = \frac{ds}{dt},$$

et on en tire :

$$dt = \frac{ds}{\sqrt{v_0^2 + 2gy}}.$$

Cela posé, supposons qu'on a résolu par rapport à y l'équation de la courbe donnée, et qu'on a ainsi trouvé pour valeur de l'ordonnée une certaine fonction de x que je représenterai par $f(x)$, on aura :

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}.dx = \sqrt{1 + f'(x)^2}.dx,$$

et l'équation en t deviendra :

$$dt = \sqrt{\frac{1 + f'(x)^2}{v_0^2 + 2gf(x)}}.dx,$$

de laquelle on tirera, en intégrant :

$$t = \int \sqrt{\frac{1 + f'(x)^2}{v_0^2 + 2gf(x)}}.dx,$$

valeur qui, comme on voit, dépend essentiellement de $f(x)$, c'est-à-dire de la forme de la courbe.

Si l'équation de la courbe, au lieu d'être résolue par rapport à y, l'était par rapport à x, on en déduirait, par exemple, $x = F(y)$; dans ce cas, on remplacerait ds par son égal

$$\sqrt{F'(y)^2 + 1}.dy,$$

et l'équation en t deviendrait

$$dt = \sqrt{\frac{F'(y)^2 + 1}{v_0^2 + 2gy}}.dy,$$

Digitized by Google

de laquelle on déduirait, par intégration :

$$t=\int\sqrt{\frac{F'(y)^2+1}{v_0^2+2gy}}\,.\,dy\,;$$

et cette valeur, comme la précédente, dépend essentiellement de F (y); c'est-à-dire de la forme de la courbe.

Mais, dans tous les cas, lorsque l'équation de la courbe sera résoluble, soit par rapport à x, soit par rapport à y, il suffira, pour obtenir t, de la détermination d'une intégrale à une seule variable.

Je vais maintenant passer de ce cas purement théorique, où on fait abstraction du frottement, à celui qui a réellement lieu dans la nature, et dans lequel on a égard à l'influence retardatrice produite par le frottement qui s'exerce sur la courbe.

On sait qu'on évalue cette dernière force à l'aide du principe que le frottement est proportionnel à la pression; cherchons donc la valeur de cette pression.

Pour l'obtenir, il faudra prendre la composante du poids P, suivant la normale à la courbe. Or, l'angle que cette normale fait avec la direction du poids P est le même que celui que fait la tangente avec l'axe des x, d'où il suit que la composante cherchée a pour expression $P\frac{dx}{ds}$; si donc on désigne par f le rapport du frottement à la pression, la force motrice attribuée au frottement sera $f\,P.\frac{dx}{ds}$, laquelle étant divisée par la masse M, donnera $fg.\frac{dx}{ds}$ pour l'expression de la force accélératrice due à la même cause.

Cela posé, le mouvement de descente le long de la courbe ne devra plus être attribué, comme précédemment, à la seule force $g.\frac{dy}{ds}$ provenant de la pesanteur décomposée suivant la tangente, mais à la différence entre cette force et celle que le frottement développe.

Il suit de là que l'équation différentielle du mouvement sera :

$$g\frac{dy}{ds}-fg\frac{dx}{ds}=\frac{dv}{dt}\,;$$

Digitized by Google

multipliant les deux membres de cette équation par ds, et remplaçant dans le second rapport $\frac{ds}{dt}$ par v, il vient :

$$gdy - fgdx = vdv,$$

équation qu'on intègre immédiatement, et qui donne

$$gy - fgx = \frac{1}{2}v^2 + C;$$

la constante C introduite par l'intégration se déterminera lorsqu'on connaîtra l'état du corps à une époque quelconque du mouvement. Par exemple, si on suppose que la vitesse initiale est égale à v_0, et si on transporte l'origine des coordonnées au point de départ, il faudra que pour $x = o$ et $y = o$ on ait $v = v_0$, ce qui exige que C soit égal à $-\frac{1}{2}v_0^2$.

Dans cette supposition, l'équation du mouvement prendra la forme

$$gy - fgx = \frac{1}{2}(v^2 - v_0^2).$$

Supposons maintenant qu'on demande en quel point de la courbe la vitesse du mobile sera égale à V ; il faudra pour cela substituer V à v dans l'équation précédente, qui deviendra ainsi :

$$gy - fgx = \frac{1}{2}(V^2 - v_0^2).$$

Par ce moyen on obtient une équation entre x et y seulement, et en la joignant à celle de la courbe, on déterminera les valeurs des coordonnées du point cherché.

Or, on peut remarquer que l'équation précédente est du premier degré seulement ; il résulte de là, que la détermination géométrique du point en question exigera seulement la construction de la droite que cette équation représente.

De cette observation on conclura le théorème suivant :

« Si par un même point on fait passer tant de courbes qu'on voudra, et » si le long de ces courbes on fait descendre des poids ayant une même » vitesse initiale v_0, tous ces mobiles acquerront la même vitesse V,

Digitized by Google

« lorsqu'ils parviendront au point d'intersection de la courbe que chacun « décrit avec la droite fixe ayant pour équation :

$$gy - fgx = \frac{1}{2}(V^2 - v_0^2). »$$

Cette droite, que pour ce motif nous appellerons *la droite d'égale vitesse*, est, comme on voit, très-importante à connaître ; or, sa position est intimement liée avec les données de la question. En effet, si nous nommons h_0 et H les hauteurs auxquelles sont dues les vitesses v_0 et V, nous aurons :

$$\frac{1}{2}v_0^2 = gh_0, \quad \frac{1}{2}V^2 = gH.$$

Substituant donc ces valeurs dans l'équation précédente, et supprimant le facteur g commun à tous les termes, il vient :

$$y - fx = H - h_0$$

et de là résulte la propriété suivante :

« La droite d'égale vitesse reste toujours parallèle à elle-même ; la tan- « gente tabulaire de l'angle qu'elle forme avec l'horizontale est constam- « ment égale au coefficient du frottement qui a lieu entre la matière de la « courbe et celle du mobile. Pour chaque vitesse particulière, cette droite « coupe l'axe des y à une distance de l'origine égale à la différence des « hauteurs auxquelles sont dues les vitesses du point de départ et du point « d'arrivée. »

Pour déterminer le point de la courbe sur lequel la vitesse du mobile devient nulle, il faut supposer que H est égal à zéro ; on trouve alors :

$$y - fx = -h_0;$$

la droite de vitesse nulle coupe donc toujours l'axe des y à une distance de l'origine égale à la hauteur à laquelle est due la vitesse initiale.

De sorte que, si au point de départ la vitesse du mobile est nulle, il suffira, pour connaître le point de la courbe où le mobile s'arrêtera, de la couper par une droite passant par l'origine, et faisant avec l'axe des x un angle dont la tangente tabulaire soit f.

Nous sommes donc ainsi conduits à la conclusion suivante, dont nous ferons tout à l'heure l'application :

Digitized by Google

« Si on prend deux points fixes A et B, distants horizontalement de la « quantité a, et verticalement de la quantité h; si on désigne par f le « rapport du frottement à la pression, et si les trois quantités a h et f sont « liées par la relation $\frac{h}{a}=f$; si on imagine tant de courbes qu'on voudra « passant par les deux points fixes, et si le long de ces courbes, à « partir du point A, on fait descendre sans vitesse initiale différents « mobiles, tous ces mobiles, lorsqu'ils parviendront au point B, auront « une vitesse nulle. »

Mais, dans le cas qui nous occupe, comme dans le cas précédent, le temps employé à descendre du point A au point B, et plus généralement d'un point à un autre, n'est plus indépendant de la forme de la courbe.

En effet, si dans l'expression générale $v=\frac{ds}{dt}$ on met la valeur précédente de v, il viendra

$$dt=\frac{ds}{\sqrt{v_0^2+2gy-2fgx}}.$$

Cela posé, supposons qu'on a résolu par rapport à y l'équation de la courbe donnée, et qu'on a ainsi trouvé pour valeur de l'ordonnée une certaine fonction de x que je représenterai par $\varphi(x)$, on en déduira

$$ds=\sqrt{1+\varphi'(x)^2}.dx,$$

et l'équation en t donnera :

$$t=\int\sqrt{\frac{1+\varphi'(x)^2}{v_0^2+2g\varphi(x)-2fgx}}.dx,$$

valeur qui, comme on voit, dépend essentiellement de $\varphi(x)$, c'est-à-dire de la forme de la courbe.

Si l'équation de la courbe, au lieu d'être résoluble par rapport à y, l'était par rapport à x, on en déduirait, par exemple, $x=\psi(y)$; dans ce cas, on remplacerait ds par son égal

$$\sqrt{\psi'(y)^2+1}.dy,$$

et alors l'équation en t donnerait :

$$t=\int\sqrt{\frac{\psi'(y)^2+1}{v_0^2+2gy-2fg\psi(y)}}.dy,$$

Digitized by Google

et cette valeur, comme la précédente, dépend essentiellement de $\psi(y)$, c'est-à-dire de la forme de la courbe.

Mais, dans tous les cas, lorsque l'équation de cette courbe sera résoluble, soit par rapport à x, soit par rapport à y, il suffira, pour obtenir t, de la détermination d'une intégrale à une seule variable.

L'application des principes précédents au transport des poids par le moyen d'une corde attachée à deux points fixes ne présente aucune difficulté.

On sait que lorsqu'une corde pesante est retenue par deux points fixes A et B, elle prend, abandonnée à elle-même, une courbure particulière à laquelle on a donné le nom de chaînette.

Si on engage une poulie sur cette corde, et si un poids est attaché à l'axe de cette poulie, le système descendra le long de la courbe, mais avec certaines circonstances particulières dues à la flexibilité de la corde.

En effet, il résultera de cette flexibilité que la courbe de descente n'offrira plus, comme nous l'avons supposé dans les calculs précédents, une figure fixe, la corde sera sans cesse déplacée, et chaque position nouvelle du poids qui la parcourt apportera un nouveau changement à sa forme.

Pour nous rendre compte des résultats de cette influence, imaginons qu'on a tracé sur le plan même de la chaînette les diverses courbes suivant lesquelles elle s'est modifiée à mesure que le poids qui la parcourt a passé sur ses différents points, et concevons en outre qu'on a décrit l'enveloppe commune à toutes ces courbes.

Cette enveloppe sera, comme on sait, tangente à chacune des courbes particulières qui servent à la déterminer; de sorte qu'on peut imaginer que c'est sur elle que la descente du mobile a lieu. Si donc il s'agissait de connaître en détail toutes les circonstances du mouvement du corps, la fixation de cette courbe serait de nature à résoudre la question, et tous les faits annoncés ci-dessus seraient vrais pour le mouvement réel du mobile, pourvu qu'on remplaçât, comme courbe de descente, la chaînette primitive par l'enveloppe dont nous venons de parler.

A la vérité, on pourrait contester que la véritable courbe de descente soit précisément l'enveloppe telle que nous venons de la définir; car, de ce que cette courbe a un élément commun avec chacune des courbes enveloppées, il ne s'ensuit pas forcément que cet élément soit le même que celui que le mobile a parcouru sur cette enveloppée; le calcul seul pourrait fixer nos idées à cet égard. Heureusement, pour l'objet qui nous

Digitized by Google

occupe, les conséquences que j'ai à faire connaître ne sont pas fondées sur l'exactitude de cette conception, que je n'ai mise en avant que parce qu'elle fournit un moyen commode de faire un examen plus approfondi du phénomène qu'on étudie; pour rester complétement dans le vrai, ne considérons que la véritable courbe de descente, telle qu'elle a dû réellement avoir lieu; bien que nous ne soyons pas en état d'en donner une définition géométrique, nous en saurons toujours assez sur elle pour légitimer suffisamment nos conclusions.

En effet, pour la solution du problème qui nous occupe (le transport d'un poids du point A au point B le long de la corde A B), il importe peu de connaître les variations qu'éprouve la vitesse du mobile le long de cette corde, sous le point de vue le plus économique; ce qu'il faut avant tout réaliser, c'est que le corps partant de A avec une vitesse nulle, parvienne en B avec une vitesse pareillement nulle. Or, le problème ainsi posé se trouve complétement résolu par ce qui précède; nous avons vu, en effet, qu'il suffit pour cela de prendre les points fixes A et B, de telle manière que le quotient de leur distance verticale h par leur distance horizontale a soit égal au rapport du frottement à la pression pour les matières dont sont composées la corde et la poulie. Dans ce cas, non-seulement la chaînette particulière qu'on aurait pu choisir, mais toutes les autres chaînettes, et plus généralement encore toutes les autres courbes qui passeront par A et B, résoudront le problème.

On voit donc que, pour cet objet, il est complétement inutile d'avoir égard aux variations de forme produites pendant le mouvement par la flexibilité de la corde. On voit encore que toute autre cause qui suivrait d'ailleurs dans ses effets la loi de continuité, comme par exemple l'extensibilité de la corde, ne changerait rien au résultat obtenu, car toutes ces causes n'auraient d'autre effet que de modifier la courbe de descente, sans détruire sa continuité, ce qui est complétement indifférent, relativement à la vitesse d'arrivée qui restera toujours nulle.

Puis donc que toutes les chaînettes qui passent par A et B sont également propres à résoudre le problème, on se déterminera dans le choix qu'on devra faire parmi ces courbes pour celle qui, sous certains points de vue particuliers, présentera quelques avantages. Par exemple, on pourra établir une comparaison entre la longueur de la corde et les résistances des points d'appui, et on choisira celle des chaînettes pour laquelle le résultat de cette comparaison sera le plus avantageux.

Digitized by Google

Mais ce qu'il importe surtout de remarquer, c'est ce que j'ai déjà dit au sujet de la continuité de la courbe de descente, et cette observation est surtout importante dans les appareils flexibles, parce que la solution de continuité y devient plus facile. Si cette continuité n'était pas permanente, si dans sa chute le mobile éprouvait des variations brusques de direction en passant d'un point à un autre de la courbe de descente, il est évident que les effets produits ne seraient nullement conformes à ceux que nous avons entendu analyser dans les calculs précédents, et qu'en conséquence les résultats seraient changés.

A cet égard, il devient évident qu'il y a de grands avantages à ne pas donner à la corde une longueur trop considérable; en effet, plus le câble aura de développement, plus la chaînette descendra bas, et plus la vitesse du mobile dans les positions intermédiaires augmentera. Il s'ensuit que la force centrifuge, qui croît comme le carré de la vitesse, et qui, par cette raison, est négligeable dans les faibles vitesses, acquerra des valeurs de plus en plus appréciables; outre cette considération, qui se rattache à la vitesse, il en est une autre dépendant de la forme de la courbe qui montre une nouvelle cause d'augmentation dans la force centrifuge: c'est que plus la chaînette sera basse, plus ses rayons de courbure atteindront de petites valeurs, et l'on sait que le rayon de courbure entre en dénominateur dans l'expression de la force centrifuge. Par ces deux motifs, on voit que la valeur de cette dernière force tend à augmenter rapidement, et de là résultera sur la courbe une augmentation de pression et de frottement. Or, il est facile, sinon d'apprécier exactement, du moins d'avoir une idée des effets qui en seront la conséquence.

L'augmentation de pression produira nécessairement une plus grande amplitude dans les déplacements du câble lorsque le mobile passera d'un point à un autre; l'effet inévitable de ces déplacements, qui réagiront sur le mobile, sera de produire des pertes de force vive dans sa vitesse, lesquelles n'auront lieu qu'au détriment de la solidité de la corde et de la stabilité des points d'appui. L'augmentation de frottement, jointe à la plus grande résistance que l'air opposera au mouvement du corps, aura également pour objet d'augmenter la différence de hauteur verticale entre les points d'appui, et par conséquent d'accroître sans utilité les dépenses d'établissement des supports.

On voit donc que sous ce rapport il y a de grands avantages à donner au câble peu de développement. Par ce moyen, on diminue toutes les résis-

Digitized by Google

tances dynamiques, on réduit l'usure à un minimum, et on économise les dépenses.

Je n'entrerai pas à ce sujet dans de plus longs détails ; je crois en avoir dit assez pour que, dans les applications, chacun soit en mesure de comprendre vers quelles études de détail doivent plus particulièrement être dirigées ses investigations.

Digitized by Google

CHAPITRE XI.

Détails des prix de diverses mains-d'œuvre. — Composition de plusieurs mastics et enduits. — Manière de reconnaître la qualité des pièces de fonte.

J'ai pensé que les notes que j'ai recueillies sur plusieurs natures de main-d'œuvre pourraient offrir quelque intérêt. Parmi celles qui ont été exécutées à la Roche-Bernard, il en est quelques-unes qui ne se représentent qu'assez rarement; d'autres sont relatives à des travaux de sujétion, et diffèrent par conséquent des mains-d'œuvre ordinaires; enfin, d'autres se rapportent plus spécialement à la fabrication des câbles.

Il y a plusieurs natures de main-d'œuvre, telles que le montage des matériaux et la taille des pierres (1), pour lesquelles j'ai recueilli un trop grand nombre de notes pour les consigner toutes dans cette notice; mais j'ai choisi celles qui sont le plus complètes, et qui donnent d'ailleurs des résultats semblables à ceux moyens déduits de toute la masse des expériences.

1° *Retrait du sable quand on le mouille.*

4 litres de sable sec assez gros et non passé à la claie prennent, après avoir été imbibés d'eau, un volume de $3^{l}20$.

(1) Cette nature de main-d'œuvre est même la moins intéressante, puisqu'elle varie avec les matériaux qu'on emploie

Digitized by Google

2° *Mélange de chaux et du même sable*; 2 mètres cubes de sable et 1 mètre cube de chaux mêlés intimement font un volume de 2^{m},02.

3° *Mélange de chaux et du même sable* passé à la claie; 2 mètres cubes de sable et 1 mètre cube de chaux mêlés intimement font un volume de 2^{m},20; 2^{mc},50 de sable et 1 de chaux produisent 2^{m},70 de mortier; 3 de sable et 1 de chaux 3 mètres cubes de mortier.

4° *Produit de la chaux de Doué en poudre éteinte par immersion.*

22.500 kilogrammes de chaux en poudre ont produit un cube de chaux en pâte de 24^{mc},60; 30.300 kilogrammes de chaux en poudre ont produit 35^{mc},88 de pâte.

5° *Travail aux carrières.* Cinq fendeurs ont extrait 58 mètres cubes de pierre de taille à la carrière en 36 jours.

Pour faire 10 mètres courants de clos et poser des coins dans les rainures, les mêmes fendeurs ont employé ensemble 12^{h},50.

6° *Décharges des pierres de taille* du bateau sur le chantier, en les transportant à 10 mètres de distance.

Un atelier de 22 manœuvres a déchargé et ensuite roulé à 10 mètres 81 morceaux de pierre de taille cubant ensemble 16^{mc},94 en 9^{h},25, ce qui fait 12^{h},01 de manœuvre par mètre cube.

7° *Taille de la pierre*, granit assez dur, un peu moins cependant que celui de Laber, qui fait la base de l'obélisque de Louqsor, parement droit.

La taille de quatre pierres cubant ensemble 0^{m},88 avant la taille et 0^{m},48 après, et présentant 1^{m},20 de parement droit, et 5^{m},44 carrés de lits et joints, a exigé 128 pointes d'outils (un taillant étant compté comme deux pointes payées 6 francs le cent), et 72 heures de tailleur de pierre.

La taille de 4 autres pierres cubant 0^{m},92 avant la taille et 0^{m},48 après, et présentant 1^{m},20 de parement droit et 5^{m},40 de lits et joints, a exigé 136 pointes et 74 heures de tailleur de pierre.

8° *Taille de pierres à moulures.*

La taille de 7 pierres d'imposte cubant ensemble, brutes, 2^{mc},14, et réduites après la taille à 1 mètre cube, présentant 1^{mc},53 carrés de moulures, 1^{mc},62 carrés de parement droit et 9^{mc},58 de lits et joints, a exigé 456 heures de tailleur de pierre et 428 pointes.

La taille de 8 pierres d'imposte cubant brutes 3^{mc},83, réduites après la taille à 2^{mq},56, et présentant 6^{mc},20 de moulures, 3^{mq},28 de parement droit

Digitized by Google

et $16^{mq},06$ de lits et joints, a exigé 1.368 heures de tailleurs de pierre et 1.208 pointes.

9° *Reprises de joints, de lits ou de parements.*

Pour reprendre trois joints sur $0^m,04$ et $0^m,05$ d'épaisseur et une surface de $1^m,32$, il a fallu 11 heures de tailleurs de pierre.

La reprise de deux joints sur $0^m,01$ et $0^m,005$ d'épaisseur, et une surface de $0^{mq},45$, a exigé $2^h,13$ de tailleur de pierre.

La reprise d'un parement sur $0^m,01$ d'épaisseur et une surface de $0^{mq},48$, a exigé 6 heures de tailleur de pierre.

La reprise do trois lits sur $0^m,02$ et $0^m,01$ d'épaisseur et une surface de $0^{mq},17$, a exigé $2^h,30$ de tailleur de pierre.

10° *Bardage et levage des pierres de taille sur les portiques.*

Sur la rive droite, le chantier où l'on taillait les pierres se trouvait à 280 mètres de distance du pied des arcades; il fallait charger les pierres sur un diable, les décharger dans une balance sous les arcades, les monter au sommet, à environ 28 mètres, les transporter sous le portique à environ 12 mètres, enfin les monter sur ledit portique à une certaine hauteur.

Sur la rive gauche, le chantier de taille n'était qu'à 30 mètres, mais il fallait ordinairement faire le transport sur cette distance au moyen de civières; le reste des mains-d'œuvre était le même que pour la rive droite.

Rive droite, pierre de Corniche cubant $0^m,74$ (1).

Charge sur le diable, 35 minutes d'un atelier de 8 manœuvres. Transport sur le diable, à 280 mètres; décharge et charge sur les balances, 18 minutes d'un atelier composé de 4 manœuvres et de 2 chevaux.

Montage sur les arcades au moyen de treuils à une hauteur de 28 mètres, 35 minutes d'un atelier composé de 8 manœuvres.

Décharge, roulage sous le portique à 12 mètres, et charge dans la deuxième balance, 16 minutes d'un atelier de 8 manœuvres.

Montage sur le portique, au moyen d'un treuil, à 15 mètres, 18 minutes d'un atelier de 10 manœuvres.

Décharge et roulage à la place où la pierre devait être posée, 17 minutes d'un atelier de 3 manœuvres et de 3 maçons (2).

(1) Le mètre cube de cette pierre pèse environ 2.900 kil.

(2) Ces pierres étant toutes à moulures, et étant montées taillées, exigeaient de grandes précautions pour la conservation de leurs arêtes; il fallait les entourer de paillassons et faire en sorte qu'aucun filet ne fût pressé par les cordages; le temps perdu était donc considérable.

Digitized by Google

Mêmes mains-d'œuvre pour 4 pierres cubant chacune $0^{m},22$, total $0^{m},88$.

Charge sur le diable, $1^{h},21$ de manœuvre et 18 minutes de cheval (1).

Transport à 280 mètres, $1^{h},38$ de manœuvre et 41 minutes de cheval.

Décharge et charge dans la première balance, 18 minutes de manœuvre.

Montage à 28 mètres sur les arcades, $5^{h},19$ de manœuvre.

Roulage sous le portique à 12 mètres, décharge de la première balance et charge dans la seconde, $1^{h},50$ de manœuvre.

Roulage à la place que les pierres doivent occuper, $1^{h},41$ de manœuvre, quelquefois 50 minutes de manœuvre et 50 minutes de maçon.

Rive gauche pour 4 pierres cubant ensemble $1^{mc},96$.

Transport par civière à 20 mètres sous la première arcade, $4^{h},41$ de manœuvre.

Charge dans les balances, 3 heures de manœuvre.

Montage au moyen de treuils à 28 mètres sur les arcades, roulage sous les portiques et montage sur lesdits portiques à 15 mètres, charge, décharge, transport à la place que les pierres doivent occuper, 13 heures de manœuvre.

11° *Montage de moellons et mortier.*

4 manœuvres, au moyen d'un treuil, ont monté, en 2 heures et en 10 voyages, $0^{mc},90$ de moellon à $18^{m},94$ de hauteur.

4 manœuvres, au moyen d'un treuil, ont monté, en 2 heures et en 18 voyages, $0^{mc},85$ de moellon à $23^{m},70$ de hauteur.

4 manœuvres, au moyen d'un treuil, ont monté, en 2 heures et en 9 voyages, $0^{mc},95$ de moellons à $20^{m},55$ de hauteur.

4 manœuvres, au moyen d'un treuil, ont monté, en 2 heures et en 9 voyages, $1^{mc},44$ de mortier à $18^{m},94$ de hauteur.

4 manœuvres, au moyen d'un treuil, ont monté, en 2 heures et en 7 voyages, $1^{mc},40$ de mortier à $23^{m},70$ de hauteur.

12° *Pose de pierres de taille.*

Pose de deux pierres de remplissage des assises, de $0^{mc},14$ et $0^{mc},16$, $1^{h},30$ de maçon.

Pose de 5 pierres de parement d'un cube total de $0^{mc},72$, $5^{h},33$ de maçon.

Pose de 2 encoignures et d'un closoir cube, total $0^{mc},52$, $6^{h},35$ de maçon.

(1) Je réduis tout le temps en fractions d'heure d'un seul manœuvre et d'un seul cheval.

Digitized by Google

13° *Encastrements dans la pierre de taille et trous de crampons.*

7 encastrements d'une longueur ensemble de $3^m,90$, de $0^m,03$ à $0^m,07$ de profondeur et de $0^m,03$ à $0^m,08$ de largeur, ont exigé $12^h,33$ de tailleur de pierre.

4 trous de crampons au fleuret, de $0^m,04$ de diamètre et d'une profondeur ensemble de $0^m,41$, ont exigé $3^h,35$ de manœuvre.

14° *Encastrements dans le rocher des plaques des cylindres d'amarre.*

3 encastrements à $0^m,03$ de profondeur et d'une surface ensemble de $0^m,59$, ont exigé 102 heures de tailleur de pierre et 245 pointes.

3 autres encastrements de $0^m,09$ de profondeur et d'une surface ensemble de $1^{mc},28$, ont exigé 156 heures de tailleur de pierre et 301 pointes.

15° *Crépissage.*

Pour crépir une surface de $17^{mq},36$ on a employé $0^{mc},50$ de mortier, 15 heures de manœuvre et 28 heures de maçon.

16° *Ragréage et rejointoiement.*

Pour ragréer et rejointoyer une surface de moellon piqué de $108^{mq},50$, on a employé 258 heures de maçon et 88 heures de manœuvre, y compris le temps nécessaire pour descendre les échafauds volants.

Pour ragréer et rejointoyer $243^{mq},16$ de semblable maçonnerie en bouchant 84 trous d'échafauds avec des moellons, il a fallu 383 heures de maçon et $155^h,30$ de manœuvre.

17° *Hangars.* Pour démolir un hangar de 95 mètres carrés ayant dix chevrons, deux sablières et un faîtage cubant ensemble $1^{mc},60$, et le refaire à 30 mètres plus loin, il a fallu 9 journées de charpentier, 7 de manœuvre et 20 kilogrammes de pointes.

Pour en démolir un autre de $104^{mc},50$, mêmes pièces principales, cubant ensemble $1^{mc},66$, et le reconstruire à 90 mètres plus loin, il a fallu 7 journées de charpentier et 8 de manœuvre.

18° *Percement* de galeries souterraines horizontales dans le rocher granitique extrêmement dur (1).

Pour percer une galerie d'environ 2 mètres sur $1^m,80$ à $3^m,20$ de profondeur en extrayant $10^m,94$ de rocher, il a fallu employer 172 journées

(1) Comme on travaillait jour et nuit, et que le travail de nuit ne vaut pas celui de jour, les résultats suivants élèvent un peu la dépense au-dessus de ce qu'elle doit être.

Digitized by Google

de mineur, 31^{k},50 de poudre et 700 pointes de fleuret (1) (chaque pointe de fleuret compte comme deux pointes).

Pour percer la même galerie à 16 mètres de profondeur, en extrayant 54^{m},48 de rocher, on a employé 740 journées de mineur, 126 kilogrammes de poudre et 7.875 pointes.

Pour percer la même galerie sur 24^{m},06 de profondeur, en extrayant 79^{mc},54 de rocher, il a fallu 1.187 journées de mineur, 12.628 pointes et 195 kilogrammes de poudre.

Pour percer la galerie de la rive gauche sur 25^{m},65 de profondeur, en extrayant 85^{mc},74 de rocher, on a employé 1.081 journées de mineur, 16.434 pointes et 207 kilogrammes de poudre.

19° *Puits verticaux.*

Pour percer un puits vertical de 5^{m},75 de profondeur en extrayant 8^{m},62 de rocher, il a été employé 210 journées de mineur, 2.214 pointes et 44 kilogrammes de poudre.

Pour en percer un autre de 7^{m},35 de profondeur en extrayant 11^{mc},02 de rocher, on a employé 243 journées de mineur, 2.714 pointes et 35 kilogrammes de poudre.

Pour percer un autre de 7^{m},45 de profondeur (2) en extrayant 11^{mc},17 de rocher, on a employé 283 journées de mineur, 3.306 pointes et 46 kilogrammes de poudre.

20° *Percement de trous dans le rocher par la méthode artésienne.*

16 ouvriers payés 1^{fr},40 et travaillant le jour et 16 autres travaillant la nuit, conduits par un surveillant payé 50 francs par mois, et dirigés par un contre-maître payé 1.200 francs par an, ont dépensé 9.615^{fr},61, et ont percé 37^{m},47 de profondeur; ce qui fait revenir le centimètre à 2^{fr},57 (3).

On ne compte pas ici l'achat des instruments qui ont coûté environ 5.000 francs.

21° *Façon de croupières.*

Un forgeron et son aide ont fabriqué en 5 heures dix petites croupières de 0^{m},04 de diamètre et de 0^{m},01 d'épaisseur.

22° *Burinage.* Un forgeron a employé 83 minutes à couper au burin

(1) Le fleuret diffère de la barre à mine en ce qu'il est court, et qu'un des mineurs frappe sur sa tête à coups de marteau, tandis que la barre à mine n'agit que par son poids.

(2) Ces puits avaient 2 mètres sur 1^{m},50 en longueur et en largeur.

(3) Sont compris dans ce prix, les racérages et tous autres raccommodages d'instruments; la sonde entrait moyennement de 5 à 7 centimètres par 24 heures.

Digitized by Google

quatre bouts de boulons de $0^m,03$ de diamètre et ayant $0^m,02$, $0^m,01$ et $0^m,02$ de longueur.

Le même forgeron a employé $1^h,30$ à couper quatre autres bouts de boulons semblables de $0^m,01$, $0^m,013$, $0^m,025$ et $0^m,03$.

Un burin a servi moyennement pour couper cinq bouts; moins on l'engage dans le fer, plus il dure.

Le même forgeron a employé 12 heures pour abattre au burin sur $0^m,03$ l'angle d'une pièce de fonte douce ayant $5^m,28$ de longueur.

23° *Confection des câbles* (1).

Pour dévider 2.050 kilogrammes de fil numéro 18, il faut 59 heures de manœuvre; la moitié du temps est employée à faire les ligatures bout à bout qui sont moyennement de 12 par 100 kilogrammes et pèsent environ 1 kilogramme ensemble.

Pour faire le câble sur le métier, cette opération comprenant les ligatures bout à bout des 12 ou 13 masses et les opérations du treuil (100 d'entre elles exigent 66 minutes), enfin celles de la potence tournante, qui prennent à peu près le même temps :

Trois manœuvres mettent ensemble.	54 heures.	
Deux manœuvres roulant les brouettes.	36	
Un manœuvre conduisant les fils sur les poulies.	18	
Un chef pour deux métiers pendant 9 heures, pour un seul. .	4,50	
Total du temps employé pour un câble pesant 2.050 kil. .	112,50	
Pour faire six grandes ligatures qui doivent porter sur les cylindres ayant une longueur totale de 360 mètres, six petites ligatures de $0^m,60$ ensemble, et celles des ganses sur $2^m,10$ ensemble, il faut 8 heures de manœuvre.		8 h.
Nota. Les câbles ont $0^m,045$ de diamètre.		
Pour faire 312 ligatures provisoires, composées de deux ou trois tours de fils, et pesant ensemble $1^k,75$, il faut 12 heures.		12
Pour retirer le câble du métier, et le transporter au dépôt à 2 mètres, il faut employer dix hommes, qui passent à cette opération un temps total de.	$2^h,50$	
Les câbles faits sur le bord gauche de la route, sur le deuxième métier, devaient être transportés à 12 mètres; ce transport exigeait.	4	
	6 50	
Moyenne.	3 25	3 25
Temps du chef d'atelier.		4 75
Temps total pour les dernières opérations indiquées.		28 h.

(1) L'entrepreneur avait passé un marché à 25 fr. par câble, toute opération qui pourrait être ordonnée comprise.

Digitized by Google

Pour la fabrication d'un câble depuis le moment où l'on dévide le fil jusqu'à celui où le câble est mis en dépôt, il faut donc employer 190^{h},25 de manœuvre et 9^{h},25 de surveillant (1).

Pose des éléments de câble pesant chacun environ 2.050 kilogrammes.

16 hommes y étaient employés et plaçaient un élément en 9 heures.

Façon sur place d'un câble d'amarre.

La façon d'un câble d'amarre composé de 180 fils et pesant moyennement 545 kilogrammes, a exigé un atelier de 7 manœuvres travaillant 8 heures.

Ligatures des câbles de suspension.

Ces ligatures, ne pouvant être exécutées avec la main de fer, étaient beaucoup plus longues à faire.

4 hommes, en 5 jours, ont fait 90 ligatures de 0^{m},30 de longueur chacune sur des câbles de 0^{m},17 de diamètre; cela fait donc 7^{h},48 de manœuvre ligateur par mètre courant de ligature.

Vernissage des fils.

Des nombreuses expériences que j'ai faites, il résulte qu'il entre un poids de vernis de 7^{k},53 par 1.000 kilogrammes de fils numéro 18.

24° Pose des poutrelles, tiges et chevalets, avec six madriers, non reliés aux poutrelles, pour livrer le passage provisoire.

Un atelier de 9 hommes, dont 6 charpentiers et 3 manœuvres de choix apportant les poutrelles avec une trinqueballe, ont posé les 175 poutrelles, placé dessus les 6 cours de madriers et posé les 350 tiges, les 350 chevalets et les 350 brides en 9 jours.

25° *Sciage des madriers.*

2 hommes ont scié en 6^{h},52 48 mètres de longueur de planches de 0^{m},04 d'épaisseur, prises dans des pièces de bois de 0^{m},25 carrés.

2 hommes ont scié en 4 heures 30 mètres de longueur des mêmes planches de 0^{m},16 carrés.

26° *Compression d'empierrement au moyen de mon rouleau.*

Pour 335^{fr},95, non compris la valeur du rouleau, j'ai comprimé 2.334 mètres courants d'empierrement; cela fait revenir le mètre courant à 0^{m},251.

(1) Les journées de manœuvre sont ordinairement de 1^{f},25; 190^{h},25 à ce prix font. . 23^{f},78
9^{h},25 de surveillant à 2 fr. . . . . 1 ,85

Total. . . . . 25 ,63

A prix fait par câble, les ouvriers mettaient un peu moins de temps.

Digitized by Google

27° *Prix de divers ouvrages de forge convenus avec le forgeron.*

Façon d'un kilogramme de fer, en lui fournissant le charbon. .	0f,125
Façon du cent de pointes.	6
Racérage de barre à mine.	0 ,60
Soudure de barre ou fleuret.	0 ,60
Pour un fleuret neuf.	1

COMPOSITION DE DIVERS MASTICS.

Mastic de tailleur de pierre.

Il arrive souvent que dans une pierre à moulure, par exemple, on reconnaît un fil ou une calle qui fait prévoir que le morceau éclatera; on ne peut penser à rejeter une pareille pierre qui coûte souvent un prix élevé de main-d'œuvre, et qui demande un temps considérable pour être taillée; il faut donc se décider à enlever le morceau et à le recoller.

On peut employer à cette opération le mastic de d'Hil ou le ciment de Vassy, qui sont d'une couleur claire; les autres ciments, tels que ceux de Pouilly et Parker, sont trop bruns et font tache sur les pierres blanches.

Les tailleurs de pierre emploient un mastic qu'ils composent eux-mêmes et qui porte le nom de mastic de tailleur de pierre; ils mélangent à diverses doses les différentes substances qu'ils y font entrer; mais l'expérience m'a appris que, pour faire un mastic couleur de pierre et très-dur, il faut faire fondre ensemble :

Résine en poudre.	4 parties.
Soufre en poudre	2
Cire.	1
Poussière de pierre.	8

Il faut observer qu'avant d'appliquer ce mastic sur la pierre, il est indispensable de la chauffer fortement.

Peinture-enduit pour couvrir les câbles de suspension.

En 1823, en reconstruisant le pont de Châtellerault sur la Vienne, j'avais essayé de placer un mastic de chaux et d'huile sur des pierres gélives, pour les préserver de l'effet de la gelée, et sur des pièces de bois,

Digitized by Google

pour les préserver de la pourriture ; je n'avais pas fait usage en grand de ce mastic, cependant j'en avais garni quelques pierres des piles. En 1835, je priai l'ingénieur en chef de la Vienne de m'en envoyer quelques morceaux : ces morceaux présentaient l'apparence d'une croûte ou d'une feuille de parchemin bien conservée, mais adhérant peu à la pierre.

En 1834, je me livrai de nouveau à l'étude de ces enduits, destinés cette fois à recouvrir, soit du bois, soit du fer ; ces nouveaux mastics ont parfaitement conservé jusqu'en 1839 l'apparence d'une feuille de parchemin adhérente à la surface sur laquelle elle était appliquée.

A la fin de 1839 et au commencement de 1840, les nouveaux résultats que j'ai obtenus m'ont prouvé que je tirerais un grand avantage de l'emploi d'un de ces mastics, modifié convenablement pour couvrir mes câbles.

On peut reconnaître maintenant que ce mastic, assez siccatif pour ne pas fondre au soleil (1), et pour ne jamais couler, ne devient jamais assez dur pour se briser (2) pendant les mouvements du pont, et qu'il enveloppe tous les fils comme dans un étui qui ne permet pas à l'eau d'y pénétrer.

Voici comment je l'ai composé :

J'ai pris de l'huile.	42 parties.
De la litharge.	1
J'ai fait bouillir ce mélange une demi-heure à très-grand feu, de manière qu'il ne formât qu'une masse de mousse ; quand la totalité du mélange n'était pas réduite à cet état, c'est que le feu n'était pas assez vif ; des gouttes refroidies sur une petite planche doivent d'ailleurs avoir l'apparence de la poix, et s'attacher au doigt en formant de longs fils ; ce caractère est le plus certain.	
Dans ce mélange encore liède j'introduis de la peinture à la céruse extrêmement épaisse, et une pincée de chaux en poudre (3).	21
Total.	64 parties

Il faut employer la peinture-enduit, ainsi composée, dans la journée ou dans la suivante ; plus tard elle devient trop épaisse.

(1) Le défaut de toutes les compositions où il entre de l'huile, c'est de se ramollir au soleil ; celles où il entre du goudron ont le même défaut par la même raison.

(2) Je ne puis affirmer que cela n'arrivera pas dans un assez grand nombre d'années, malgré mon expérience du pont de Châtellerault ; mais, dans ce cas, il serait facile d'en remettre une couche nouvelle.

(3) Je n'indique pas la quantité de chaux, on en met plus ou moins, mais toujours très-peu, selon qu'on veut épaissir le mélange.

Digitized by Google

Mastic pour couvrir les câbles d'amarre.

Huile.	40 parties.
Litharge.	1
Faites bouillir le mélange comme le précédent, et avec les mêmes précautions.	
Au moment où vous le retirerez de dessus le feu, ajoutez-y un peu de chaux en poudre, éteinte par immersion, en l'y incorporant avec une truelle ou cuiller de fer, environ	59
Total.	100 parties.

Au surplus, on y ajoute la quantité de chaux qu'on désire pour donner plus ou moins de consistance au mastic, selon que l'on veut l'employer plus ou moins liquide (1).

J'ai recouvert mes câbles d'amarre avec ce mélange; après quarante-huit heures, la croûte formée par cet enduit de couleur vert-brun était lisse et brillante, et très-solide, quoique cédant cependant sensiblement sous une très-forte pression du doigt et sous celle de l'ongle; après quinze jours, cette croûte avait tant de consistance que de l'huile versée dans la partie supérieure du câble en très-grande abondance n'a pu la percer, et n'est ressortie qu'au milieu de sa partie horizontale, où j'avais laissé exprès une petite longueur non recouverte (2).

Ce mastic n'est pas assez dur pour servir à couvrir des terrasses sur lesquelles on doit marcher sans précaution; mais il est parfait lorsqu'il s'agit seulement d'empêcher l'eau de pénétrer; comme il ne devient pas cassant, même pendant les plus grands froids, il peut être placé sur des corps élastiques, et la plus grande chaleur du soleil ne le fait pas couler.

J'en ai fait l'essai pour couvrir la maison du gardien du pont de la Roche-Bernard; sur les voliges garnies d'un peu de mortier, j'ai fait couler une couche d'enduit de $0^{m},005$ d'épaisseur. Le résultat a été parfait, et le mètre carré, façon comprise, m'est revenu à $4^{fr},56$, compris montage et autres façons extraordinaires.

(1) Un mélange simple de chaux en poudre et d'huile forme un mastic qui se réduit souvent en poussière en se desséchant, à moins de prendre quelques précautions inutiles à rapporter ici.

(2) J'ai recouvert un morceau de fer de cet enduit, et je l'ai exposé à l'humidité dans les circonstances les plus favorables à l'oxydation; il s'est parfaitement conservé.

Digitized by Google

Savoir, pour une surface de 78 mètres carrés :

301 kil. d'huile à 1 fr.	301 fr.
35 kil. de litharge à 80 centimes.	28
Chaux et sable.	6
16 journées de manœuvre à 1 fr. 30 c. . .	20 80
	355f80

Et pour un mètre carré 4fr.,56.

J'ai calfaté avec le même enduit un canot qui faisait eau de tous côtés, et avec succès.

Je ne doute presque pas qu'il ne préservât les bois plongés dans l'eau de mer des attaques du ver marin ; mais je ne puis rien affirmer à cet égard.

Mastic pour servir de dallage pour terrasses, antichambres, salles d'attente.

Mettez dans une chaudière exposée à un feu violent de l'huile de lin. . .	20 parties.
Lorsqu'elle commence à bouillir, jetez-y de la litharge.	1 partie.

Laissez bouillir, en remuant toujours jusqu'à ce que le mélange soit réduit en mousse, de peur que la litharge ne se dépose au fond du vase, car, dans ce cas, l'opération serait manquée.

Il faut que l'appareil soit disposé de manière à ce qu'on puisse recouvrir le feu instantanément, ou ôter le vase de dessus à volonté ; car le mélange s'enfle beaucoup, de cinq ou six fois son volume primitif au moins, et s'il passait par-dessus les bords, il en pourrait résulter de graves accidents. On peut aussi y jeter quelques pincées de sable pour détruire ce gonflement.

On reconnaît qu'il a assez bouilli, quand une goutte placée sur une feuille de fer-blanc prend une consistance de poix telle, qu'en la touchant du doigt quand elle est tiède, elle s'y attache de manière à former des fils de 0m,01 ou 0m,02.

Tant que la goutte refroidie ne présente que la consistance du beurre, c'est que le mélange n'est pas assez cuit.

Pour de petites quantités, il m'a suffi d'environ quinze à vingt minutes de cuisson :

Digitized by Google

C'est alors qu'on y introduit du sable (1). . . .	40 parties.
De la chaux éteinte par immersion.	10
Soufre en poudre (2).	1
	72 parties.

On retire du feu immédiatement, cette opération ayant duré environ quarante minutes.

On agite fortement, et l'on place de suite sur la surface qu'on veut couvrir; une épaisseur de $0^m,010$ à $0^m,015$ au plus est suffisante.

Si l'on veut faire avec ce mélange un dallage plus grossier, il faut que le sable qu'on y introduit soit un peu gros, et à mesure qu'on place l'enduit on le couvre d'une couche de ce sable qu'on bat fortement avec un bout de planche placé à l'extrémité d'un bâton.

Ce mélange devient dur presque aussi vite que les asphaltes, c'est-à-dire qu'on peut marcher dessus après une demi-heure et lorsqu'il est encore tiède; cependant, comme il durcit pendant longtemps, il vaut mieux le laisser reposer pendant vingt-quatre heures au moins.

Ce mastic peut remplacer avec avantage, pour les dallages intérieurs, tous les asphaltes, sur lesquels il a les avantages suivants:

Il ne se ramollit pas autant au soleil et pendant les grandes chaleurs, surtout s'il renferme beaucoup de petits cailloux.

Il devient tous les jours plus dur, de sorte qu'après un ou deux mois d'âge, le soleil ou les grandes chaleurs n'y produisent plus que peu d'effet.

Il présente une couleur brun verdâtre moins désagréable que celle des asphaltes, et cette teinte est telle qu'elle donne les moyens de le colorer à volonté, comme on le verra plus tard.

Je ne puis assurer que ce mastic soit aussi durable que les asphaltes; mais, comme une aire faite avec ces enduits s'use par le frottement longtemps avant que les matières puissent se décomposer, on doit tenir peu de compte de cet élément de résistance en faveur des asphaltes.

(1) Si le sable est un peu humide, il faut avoir soin de l'introduire peu à peu; l'eau en se vaporisant fait gonfler beaucoup le mélange, et même peut produire des jets dangereux pour les ouvriers; la même précaution doit être prise toutes les fois qu'on fait un mélange quelconque, parce qu'il peut toujours arriver que la matière froide qu'on verse dans celle qui est bouillante contienne un peu d'eau.

(2) En augmentant la proportion de soufre, on rend le mélange dur, mais cassant. On peut se dispenser d'en mettre, si le dallage doit rester à l'ombre.

Digitized by Google

Prix de revient de ce mastic par mètre carré de surface sur 0m,012 d'épaisseur (1).

16k,40 décagrammes d'huile de lin à 1 fr. le kil.	16f,400
1 ,00 kilogrammes de litharge à 80 centimes.	3 ,200
0 ,003 cubes de sable à 2 fr.	0 ,006
9 ,00 litres de chaux à peu près à 10f,8 le mille.	0 ,100
Soufre.	0 ,001
Façon, en comptant la moitié du temps perdu, 1 heure d'un atelier composé de quatre hommes payés 2 fr., et d'un contre-maître payé 3 fr.	0 ,110
Étendage et battage, une demi-heure du même atelier.	0 ,055
Chauffage, frais divers et imprévus, intérêt du capital employé aux outils, etc.	0 ,008
Total.	19f,880

On peut, avec la quantité de mastic produite, recouvrir une surface de 5 mètres carrés.

Ce qui donne, par mètre carré. 3fr.,96

Si l'on veut obtenir des mastics colorés, il suffit d'introduire dans le mélange, au moment de l'étendre, soit un peu de céruse, si on veut le colorer en blanc, soit un peu de minium (2), si on veut le colorer en rouge.

Si, au lieu de mettre 40 parties de sable, on en met 30 seulement avec 20 parties de ciment et 5 parties de chaux, le mélange prend naturellement une assez jolie teinte violette.

Il prend encore cette teinte, si au lieu de sable on emploie du granit rouge pilé.

Enfin, si on remplace le sable par des schistes micacés pilés, le mélange devient aussi brillant que les pierres micacées elles mêmes.

On n'employait autrefois que les asphaltes naturels de Seyssel. M. Dezmaurel a été le premier qui en a composé artificiellement, et il avait gardé son secret; je suis le second qui suis parvenu à cette composition, mais par d'autres moyens que M. Dezmaurel, et j'ai publié mon procédé dans les *Annales des ponts et chaussées*, après en avoir fait l'application à une partie du trottoir du quai d'Orléans, à Lyon.

Trois mois après la publication de ma découverte, vingt industriels ont pris des brevets d'invention pour s'assurer la propriété de mon procédé

(1) Comme je n'ai fait que des expériences en petit, il se pourrait que ce détail ne fût pas très-exact.

(2) Le minium surtout prend parfaitement.

Digitized by Google

et de celui de M. Dezmaurel, qu'ils ont un peu modifiés pour obtenir ledit brevet.

Je ne serais pas étonné que, dans quelques mois, de nouveaux brevets fussent obtenus pour invention de mastics semblables à ceux que je viens de décrire ci-dessus. Pour avoir droit à un brevet d'invention ou de perfectionnement, une légère modification ou dans la composition ou dans la manière d'employer suffit.

Ce n'est pas une protestation que j'insère ici, car je ne veux pas faire de spécnlation sur mes mastics; mais je voudrais qu'on me fît la politesse de reconnaître que l'invention m'appartient.

Mastic destiné à remplir les vides et soufflures dans les pièces de fonte.

Prenez de la coupure de fonte faite au taraud. .	80k,00
Mêlez avec du sel ammoniac.	0 ,125

Ajoutez nn peu de soufre; mêlez fortement dans un acide quelconque (*les ouvriers emploient l'urine*), de manière à ce que l'oxidation soit rapide et complète, ce qui arrive au bout de quelques jours; retirez le dépôt qne vous trouvez au fond du vase, placez-le dans le vide que vous voulez remplir, battez ensuite constamment jusqu'à ce qu'il ne sorte plus d'humidité; après trois jours le mastic doit déjà résister sous les coups de martean.

Il n'est pas rare que les pièces de fonte qui sont fournies aient eu un grand nombre de vides et de soufflures remplis d'un pareil mastic; quelquefois ces vides le sont avec du zinc, et leur surface seule est couverte de ce mastic; dans tous les cas, ces pièces de fonte sont défectueuses, le mastic n'ajoutant rien à leur force.

Pour en reconnaître la présence, il faut frapper an martean toute la surface des pièces qu'on veut recevoir; quand le son change, il faut frapper un peu plus fort : alors ce qui paraissait être de la fonte cède, et l'on s'aperçoit que c'est un remplissage frauduleux. On peut suivre avec le marteau et le ciseau tous les filons de matière étrangère, et mettre la fonte à nu.

Digitized by Google

CHAPITRE XII.

Épreuve et inauguration du pont.

Je n'ai pas voulu poser les recouvrements de la main courante, des garde-corps, ni faire placer la dernière couche de peinture, avant de procéder à cette épreuve; les changements de forme font toujours jouer les assemblages, déjettent les pièces qui doivent rester en ligne droite, et pendant leur transport, les matériaux qu'on y emploie salissent toujours beaucoup les garde-corps et parties antérieures du pont.

Les empierrements des abords, ainsi que les piédestaux, n'étaient même pas terminés; il fallait donc conserver les charpentes des treuils qui me servaient à monter les matériaux; j'ai été forcé, en conséquence, d'établir des plans inclinés formés avec de forts madriers et descendant vers le pont, pour traverser ces charpentes.

D'après la largeur et la longueur du pont, le poids qu'on devait y placer s'élevait à 219.400 kilogrammes.

Je fis peser 109 charrettes ou tombereaux, 59 caisses et camions, et 74 brouettes, et je trouvai que leur poids s'élevait à. . . .	50.906 kil.
Il fallait donc les charger d'un poids additionnel de.	168.494
	219.400 kil.

Digitized by Google

Après avoir pesé avec soin plusieurs tas des pierres extraites du rocher des routes, je reconnus que pour arriver à ce poids, il fallait charger les tombereaux et autres véhicules ci-dessus indiqués, de 102 mètres cubes. Je les fis amener ainsi chargés sur le pont (1) en les espaçant d'abord beaucoup, et les rapprochant ensuite à mesure qu'il en arrivait de nouveaux. Je m'apercevais qu'une partie du pont était trop chargée proportionnellement aux autres, quand la courbure du plancher s'y effaçait; sans cette précaution de ne pas charger trop inégalement (2) toutes les parties du tablier, les déformations dans la courbure des câbles, et par suite dudit tablier, qui en auraient été la conséquence, auraient pu faire briser des assemblages de charpente. Cependant des surcharges ont eu lieu momentanément sur plusieurs points, et ont produit un effet beaucoup plus grand que le passage sur le pont de la plus grosse voiture.

Au moment où l'on commençait l'épreuve, la pluie a commencé à tomber à torrents, et a rempli les tombereaux, les caisses et les intervalles entre les madriers. Vingt-quatre heures après la pluie, l'eau tombait encore à verse sous le pont; il m'a été impossible de déterminer au juste le poids additionnel que cela a ajouté à l'épreuve; mais j'ai estimé, d'après les mouvements d'élévation qu'avaient éprouvés, les câbles à l'entrée des piédestaux, pendant une très-grande pluie quelques jours avant l'épreuve, que cette surcharge devait être plus forte et ne pouvait être moindre que 30.000 kilogrammes.

Enfin, pour compléter l'épreuve, un ouragan violent s'est élevé au moment même où l'on déchargeait le pont, et l'a fait osciller d'une manière assez remarquable pendant qu'il était encore chargé.

Cette épreuve, qui a duré vingt-quatre heures, à compter du moment où la charge totale a été placée jusqu'à celui où on a commencé à l'enlever, a été parfaitement satisfaisante; pas un fil ni une pièce quelconque ne s'est brisé; aucun mouvement ne s'est manifesté dans aucune partie des maçonneries; les assemblages même des charpentes n'ont pas souffert (3) d'une manière sensible. Pendant l'épreuve, des agents des ponts et chaussées étaient placés au sommet des portiques, à l'entrée des piédes-

(1) En y arrivant par les plans inclinés dont j'ai parlé précédemment, ils prenaient une vitesse considérable, de sorte qu'une force vive assez grande était ajoutée à leur poids.

(2) Il faut observer que plusieurs tombereaux venant de l'usine du Rodoir, pesaient avec leur charge jusqu'à 12.000 kil.

(3) Un trait de Jupiter de la main courante seul s'est un peu élargi.

Digitized by Google

taux et dans les amarres, pour observer les mouvements des cylindres mobiles, le redressement et l'exhaussement des câbles de retenue, et enfin tous les autres mouvements qui pouvaient se produire; des repères avaient été tracés avec soin, pour faciliter les observations; en voici le résultat.

Mouvement des cylindres du centre des portiques

Les cylindres les plus voisins des parements ayant un peu glissé, on n'a pu observer régulièrement que le mouvement de ceux des centres.

Époque de l'observation.	Rive gauche.		Rive droite.		Observations.
	Amont.	Aval.	Amont.	Aval.	
	Millimètres.	Millimètres	Millimètres.	Millimètres	
Après la placement du $\frac{1}{4}$ de la charge.	3,00	2,00	3,00	3,00	On a remarqué que lorsqu'un tombereau pesant de 3 à 4 mille kilogrammes arrivait avec vitesse sur le pont, il se produisait sur les cylindres un mouvement d'oscillation d'environ 1 millimètre.
Après le placement des $\frac{1}{2}$ de la charge.	11,00	7,00	7,00	6,00	
Après la charge complète.	16,00	14,00	14,00	11,00	
Le lendemain avant la décharge.	16,00	15,00	15,00	12,00	
Après la décharge.	3,00	0,00	5,00	5,00	

Ainsi il s'en est fallu de 3 millimètres que le cylindre central amont de la rive gauche ne reprît sa première position; ceux de la rive droite sont restés également de 5 millimètres en avant de leur position primitive.

Digitized by Google

Relèvement des câbles de retenue à leur entrée dans les piédestaux.

ÉPOQUE de l'observation.	Rive droite.		OBSERVATIONS.
	Amont.	Aval.	
	Millimètres.	Millimètres.	
Après le placement du ⅓ de la charge.	23,00	20,00	On n'a pas pu faire d'observation sur la rive gauche, parce que les câbles reposaient fortement sur les cylindres de l'intérieur du portique.
Après le placement des ⅔ de la charge.	70,00	63,00	
Après la charge complète.	90,00	82,00	
Le lendemain avant la décharge.	90,00	82,00	
Après la decharge.	15,00	4,00	

Il s'en est donc fallu de 15 millimètres à l'amont et de 4 millimètres à l'aval qne les câbles de retenue ne reprissent lenr position, ce qui s'accorde, au moins ponr l'amont, avec le mouvement des cylindres.

Avant de charger le pont, j'avais eu soin de rapporter exactement le point où l'arc parabolique des câbles touchait le plan horizontal inférieur, sur un repère invariable.

J'ai trouvé que :

Avant l'épreuve la flèche était de.	15m.00
Après le placement des ⅓ de la charge. . . .	15 .23
Après la charge complète.	15 .26
Après la décharge.	15 .02

Aucun mouvement apparent ne s'est manifesté dans les amarres.

L'épreuve achevée, on s'est hâté de terminer la partie des travaux nécessaire pour pouvoir livrer le pont au public ; le 26 décembre, l'inauguration a pn avoir lieu, et M. le préfet du Morbihan, accompagné des principales autorités du département, de M. Vigier, député, et de plusieurs ingénienrs des départements voisins, a traversé le pont au son de la musique militaire et des fanfares; plusieurs discours et pièces de vers ont été lus, les médailles frappées ont été distribuées, et la fête a été

Digitized by Google

terminée par un banquet, où l'on a porté la santé du Roi avec d'autant plus de plaisir qu'on s'est rappelé que si un magnifique pont remplace à la Roche-Bernard un bac qui était l'effroi des voyageurs, c'est à sa volonté personnelle, si bien secondée par celle de M. Legrand, qu'on le doit. Immédiatement après le passage du cortége, le public a été mis en possession du pont, et les petits ouvrages accessoires, comme ragréages et rejointoiement, peintures, assainissement des galeries, etc., ont pu être remis sans inconvénient à la campagne suivante, sans gêner le moins du monde la circulation.

Digitized by Google

CHAPITRE XIII.

Réflexions sur le système actuel d'adjudication des grands travaux et sur les moyens d'y employer l'armée.

La construction du pont de la Roche-Bernard m'a fourni l'occasion d'étudier deux questions importantes pour l'exécution des travaux publics: je veux parler du système des grandes adjudications passées à un entrepreneur général et de la coopération de l'armée.

L'usage suivi jusqu'à présent de livrer l'ensemble des travaux qui constituent une grande construction à un entrepreneur général, me semble offrir des inconvénients qui l'emportent sur les avantages.

Sans doute ce système est commode pour l'administration; il lui donne les moyens de rendre des comptes par états à colonnes, il facilite la distribution des fonds du budget; mais il ne faut pas oublier que le travail administratif n'est qu'un objet secondaire dans le ministère des travaux publics, et qu'il doit se subordonner entièrement à l'objet principal : je veux parler de l'exécution des travaux.

Sans doute ce système semble avoir l'avantage d'exclure les petits entrepreneurs qui n'ont souvent ni l'habileté, ni les moyens pécuniaires nécessaires pour exécuter les travaux d'une manière large et avec activité; mais cet avantage n'est que spécieux, car les hommes riches qui se font entrepreneurs ne sont souvent que des spéculateurs habiles qui

Digitized by Google

n'ont pas l'intention d'exécuter eux-mêmes, et qui savent éluder les prescriptions des conditions générales, en donnant le nom d'associés à des sous-traitants à qui ils abandonnent les travaux, en réalisant des bénéfices énormes, de sorte que ce sont eux qui profitent du rabais possible qui eût dû appartenir à l'état, si ce dernier avait traité avec les entrepreneurs véritables (1).

Mais dans la supposition que ces adjudicataires soient des entrepreneurs réels, qui veuillent exécuter eux-mêmes, les inconvénients changent de nature sans devenir moindres pour cela ; il est évident que quelque riches et portés de bonne volonté que soient ces adjudicataires, non-seulement ils craignent de perdre, mais encore ils désirent gagner, et ils le désirent d'autant plus qu'ils croient assez souvent que leur part d'honneur dans l'exécution des travaux est fort petite, ce qui est pourtant selon moi une erreur, car il est quelquefois aussi difficile de faire réussir par une bonne exécution une idée heureuse, que de la concevoir.

En général, soit en conséquence de cette erreur, soit par d'autres raisons, les entrepreneurs ne placent qu'en seconde ligne la question d'honneur; c'est la question financière qui les occupe avant tout (2) : la conséquence naturelle de cet état de choses n'est-elle pas que toutes les fois que l'ingénieur directeur des travaux conçoit une idée qui peut, ou ajouter aux garanties de solidité, ou à la beauté des ouvrages, ou enfin qui peut diminuer la dépense totale de la construction, l'entrepreneur commencera par examiner si les formes et dimensions nouvelles sont de nature à amoindrir les bénéfices qu'il se promettait, et pourvu qu'il lui reste le moindre doute à cet égard, l'ingénieur peut s'attendre soit à une vive opposition de sa part, soit, ce qui est peut-être pire encore, à cette opposition sourde et toute d'inertie, à cette mauvaise volonté contre laquelle bien certainement sa volonté personnelle viendra toujours se briser. Or, si l'exécution des travaux qui offrent quelques chances d'insuccès, est diffi-

(1) Je ne parle pas ici des relations difficiles qui existent souvent entre les ingénieurs et ces hommes riches ayant beaucoup plus de crédit qu'eux.

(2) Il est évident que cette règle, comme toutes les autres, souffre des exceptions, mais ce sont les cas ordinaires et non les exceptions qu'il faut considérer; les mêmes hommes qui, construisant comme ingénieurs, mettront jusqu'à du luxe dans leurs constructions, parce que l'honneur leur reviendra tout entier, apporteront même de la lésinerie tant qu'ils le pourront dans les travaux qu'ils exécuteront comme simples entrepreneurs, sous les ordres des ingénieurs. Si vous leur en faites des reproches, ils vous répondront : Ce n'est pour moi qu'une affaire d'argent.

Digitized by Google

cile même avec le concours d'un entrepreneur habile et dévoué, que devient-elle quand cet entrepreneur se pose constamment comme obstacle contre tous les moyens que vous voulez employer?

Faut-il, pendant quelques mois, imprimer une activité extraordinaire aux travaux, pour arriver, à la fin de la campagne, à un degré d'avancement qui donne une garantie certaine qu'ils n'éprouveront aucune dégradation, ou qu'ils seront terminés à l'époque désirée? les entrepreneurs ne donneront pas probablement cinq centimes de plus à leurs ouvriers, pour en recruter un plus grand nombre, s'ils ne retirent aucun avantage à arriver à ce résultat, à moins qu'ils ne s'y trouvent forcés par une menace de régie à leurs frais; mais ce n'est pas une chose très-facile et qui ne présente aucune espèce d'inconvénient; qu'une pareille régie! Faut-il compliquer quelques échafauds, pour assurer la vie des hommes? Faut-il employer quelques machines de plus, quelques moyens plus dispendieux pour amener les matériaux parfaitement intacts sur les chantiers? l'entrepreneur résistera toujours, surtout s'il ne retire pas de son entreprise tous les profits qu'il en attendait, et il allèguera pour justifier sa résistance que les moyens qu'on veut lui faire employer ne sont pas exactement ceux indiqués au devis; dans ce cas, ou l'ingénieur devra se condamner à ne jamais améliorer les premières idées qu'il avait conçues (1), ou il devra consentir à promettre aux entrepreneurs des indemnités, dans le cas où les mains-d'œuvre qu'on lui prescrit, les formes nouvelles qu'on veut adopter, s'éloignent des conditions rigoureuses du cahier des charges; dans ce cas, en effet, l'entrepreneur obéira avec joie, car il est certain que le trésor lui payera au double l'excès de la dépense qui lui aura été imposée.

Je voudrais que l'État adoptât pour l'exécution de ses travaux le mode suivi généralement par les compagnies exécutantes.

Elles se gardent bien de livrer l'ensemble des travaux à un grand entrepreneur, mais elles traitent du transport des pierres avec un entrepreneur secondaire qui, habitant les localités, peut exécuter à meilleur marché, de la fourniture du fer avec un autre, de la charpente avec un troisième, et ainsi pour toutes les autres parties de la construction.

De cette manière, elles se réservent à volonté les mains-d'œuvre qui

(1) C'est ce qui arrive quelquefois dans la crainte de donner aux entrepreneurs de justes sujets de réclamation. J'insiste fortement sur cette dernière considération pour appuyer mon système.

Digitized by Google

exigent le plus de soin, les parties du travail qui sont susceptibles d'éprouver des améliorations de détail; enfin, si un de ces entrepreneurs secondaires perd sur son marché, et, en conséquence, ce qui arrive toujours, cherche à réparer ses pertes par des fraudes (il trouvera toujours les moyens de tromper, la question est du plus au moins), dix autres, qui feront leurs affaires, exécuteront leur travail avec loyauté et bonne volonté.

Pour appliquer ce système au pont de la Roche-Bernard, j'aurais voulu qu'on adjugeât les fournitures de moellons, pierres de taille, chaux et sable, à un entrepreneur particulier; que celle des fers, fils de fer et bois eût été donnée à un autre; la fabrication des mortiers, le montage des pierres, l'exécution des maçonneries, la fabrication des câbles eussent été opérés en régie; enfin la taille des pierres et des charpentes eût été l'objet de marchés particuliers avec des maîtres tailleurs de pierre ou charpentiers (1).

Il est possible que je me trompe; mais j'ai la conviction que plusieurs parties de mes travaux eussent été mieux traitées et surtout plus promptement, et l'administration n'eût pas été accablée de la foule des réclamations des entrepreneurs.

Quant à la question de l'emploi de l'armée aux travaux publics, elle est encore plus grave.

Dans l'article qu'il a publié dans le numéro des *Annales* de janvier 1840, M. Collignon a fait connaître que l'emploi des troupes aux travaux des routes stratégiques de la Mayenne, n'avait pas produit des résultats aussi avantageux qu'on l'espérait, puisqu'il eût fallu réduire à 0f,41 en 1835 et à 0f,214 en 1836, le montant de la rétribution à accorder à chaque soldat travailleur, pour qu'il n'y eût ni profit ni perte pour l'État à les employer; il remarque en même temps que ces soldats ont produit moins de travail, dans un temps donné, que les ouvriers ordinaires.

J'ai employé des ouvriers militaires à la Roche-Bernard; la composition du personnel de mon atelier était différente de celle des ateliers de M. Collignon, et j'ai obtenu des résultats différents pour la quantité et la qualité du travail produit; mais son organisation était à peu près la même, et les résultats, sous le rapport financier, quoiqu'un peu meil-

(1) La première commission du conseil des ponts et chaussées chargée d'examiner mon projet était entrée dans cette voie, quoique d'une manière non suffisamment large; elle avait proposé de scinder l'entreprise en trois adjudications : celle des maçonneries, celle des fers et fils de fer du système de suspension, et celle des charpentes.

Digitized by Google

leurs que les siens, n'ont pas été parfaitement satisfaisants. Bien loin d'être forcé de conclure de cette dernière circonstance, comme M. Collignon, que le peu d'avantages qu'on peut retirer de l'emploi de l'armée aux travaux publics ne mérite pas qu'on modifie son organisation, ne m'est-il pas permis de soupçonner, au contraire, que c'est son organisation actuelle qui s'oppose à ce qu'on en obtienne de plus grands?

Avant de développer mes idées à cet égard, je dois entrer dans quelques détails sur les résultats de l'emploi des ouvriers militaires à la Roche-Bernard.

Deux détachements, l'un du 7e de ligne, composé de 130 hommes, l'autre du 20e, composé de 100 hommes, ont été employés aux travaux du pont pendant les campagnes de 1837 et 1838; ils étaient commandés par un capitaine, quatre lieutenants ou sous-lieutenants, deux sergents-majors et six sergents; je ne compte pas les caporaux qui travaillaient comme les soldats.

Tous les travailleurs avaient été *choisis parmi les hommes de bonne volonté* des deux régiments; c'est dire assez qu'on ne rencontrait parmi eux presque aucun cordonnier, tailleur, bijoutier et autres hommes à état sédentaire, étrangers au maniement de la pelle ou de la pioche (1).

(1) Tous les ingénieurs qui ont dirigé des ateliers de charité pour employer les ouvriers des manufactures d'étoffes sans ouvrage, ont pu reconnaître qu'avec la meilleure volonté du monde, ces ouvriers ne produisent que peu de travail, tandis que ceux habitués aux travaux de la campagne en produisent bien davantage.

A Lyon, pendant l'hiver de 1836 à 1837, j'ai obtenu quelques passables résultats du travail de plus de trois mille ouvriers en soie qu'on avait mis à ma disposition; mais je ne les ai dus qu'à une organisation particulière que j'avais donnée à mes ateliers.

J'avais d'abord choisi pour eux un travail facile : la construction de la digue de ceinture des Brotteaux, exécutée avec des remblais pris dans de la terre végétale ou sablonneuse d'une facile extraction.

J'avais fait prévenir les ouvriers que je ne les recevrais que lorsqu'ils se seraient formés en brigades de vingt à trente hommes, en se choisissant entre eux.

Quand une brigade ainsi formée se présentait, je lui faisais élire son chef, et lui faisais tracer sur le terrain un espace où elle devait prendre la terre du remblai.

A la fin de chaque semaine, je faisais afficher sur la porte de la ferme de la Tête-d'Or, où j'avais établi mon bureau, le nombre des mètres cubes extraits par chaque brigade et la somme totale qu'elle avait gagnée, avec le prix de la journée pour la semaine qui en était la conséquence.

J'avais eu soin de donner au mètre cube un prix plus élevé d'un cinquième que celui indiqué au projet.

Je payais la somme gagnée par chaque brigade entre les mains de son chef, qui se chargeait de la distribuer aux ouvriers.

L'émulation que cette organisation leur donnait, l'inspection mutuelle des ouvriers de chaque bri-

Digitized by Google

Ces soldats ont été d'excellents manœuvres; non-seulement ils ont produit plus de travail que les ouvriers civils, mais encore ils leur ont donné de l'émulation, et surtout les ont empêchés, par leur exemple, de perdre du temps en causeries, car les sous-officiers n'auraient pas permis aux soldats de l'employer de cette manière (1).

Quant au résultat financier, en faisant abstraction du travail produit, il n'a pas été très-favorable.

Pour ne pas opérer sur de trop grands nombres, je ne considérerai que le travail d'un mois, et je choisirai celui de juin 1838, qui est un de ceux qui donnent des résultats moyens.

Pendant ce mois le total des journées des ouvriers militaires s'est élevé à. 4.136

L'entrepreneur (2) a payé pour chacune d'elles 1 fr. 25 c., ce qui fait une somme de	5.170f,00c
Mais il a eu à payer en outre :	
1° Traitement de cinq officiers à 65 fr.	325 ,00
2° Traitement de deux sergents-majors à 30 fr	60 ,00
3° Traitement de six sergents à 45 fr. (3)	270 ,00
4° Frais de route pour l'arrivée et le départ des deux détachements, dont le dixième est de (4).	37 ,11
5° Salaire de deux cuisiniers pour un mois, à raison de 260 fr. par an.	21 ,66
A reporter.	5.883 ,77

gade les uns sur les autres (l'ouvrier plus paresseux ou plus malhabile que ses camarades était bientôt expulsé par eux), la confiance qu'ils avaient dans des chefs immédiats de leur choix (et il était important de leur en donner dans une ville comme Lyon, où il existe tant de défiance contre l'administration), les faisaient travailler avec une ardeur que j'ai rarement remarquée chez les ouvriers ordinaires; cependant les hommes composant la brigade la mieux choisie, dans un pays où la journée ordinaire de manœuvre est de 2 fr., n'ont pas gagné plus de 2 fr. 50 c.; la plupart n'ont gagné que 1 fr. 50 c. à 1 fr. 80 c., et souvent ils avaient les mains tellement pleines d'ampoules, qu'ils étaient forcés d'abandonner les travaux.

(1) Les sous-officiers ne commandaient qu'aux soldats : quoique les contre-maîtres de l'entrepreneur eussent le droit de leur donner des ordres, cependant ils employaient ordinairement l'intermédiaire des sous-officiers, car ces soldats étaient très-susceptibles, et s'offensaient souvent des paroles, quelque peu dures qu'elles fussent, des contre-maîtres : les appels mêmes se faisaient séparément pour les ouvriers militaires et civils; ces derniers consentaient bien à être soumis aux formes militaires, mais ils ne voulaient pas que les sous-officiers eussent l'air d'être leurs supérieurs.

(2) Ces ouvriers étaient à la solde de l'entrepreneur.

(3) Les sergents étaient constamment présents sur les chantiers, tandis que les sergents-majors ne s'occupaient que de comptabilité : voilà pourquoi les premiers recevaient plus que les derniers.

(4) Cette campagne a duré dix mois.

Digitized by Google

Report.	5.883 ,77
6° Location d'ambulance, à raison de 180 fr. par an.	12 ,50
7° Installation de râteliers d'armes, tables à manger, gamelles, cruches et chaudières, à raison de 25 fr. par mois	25 ,00
8° Fourniture de bois pour la cuisine	25 ,00
9° Fourniture de lits pour la salle de police	6 ,00
10° Coucher de 206 hommes seulement, en ville, en raison de 10 c. par homme et par nuit	618 ,00
11° Location de trois lits pour l'ambulance	15 ,00
12° Frais de maladies, honoraires de médecins	80 ,00
Total de la dépense	6.668 ,27

Ces 6.668 fr. 27 c. divisés par le nombre total de journées du mois, donnent pour prix moyen de la journée 1 fr. 61 c.

Or, en admettant que l'entrepreneur eût employé des manœuvres de choix à la place des militaires, il ne les eût payés que 1 fr. 40 par jour (1), il aurait donc gagné 0f,21 par jour et par homme à cette substitution; il est vrai qu'il n'en eût peut-être pas trouvé la quantité suffisante.

Examinons maintenant quel a été le profit net de chaque soldat travailleur:

Pour un mois de travail, ordinairement composé de 25 jours, il recevait		31f ,25c
Il avait à payer pour son service au corps, par mois	5f,00c	
Chaussure	2 ,50	
Une blouse et un pantalon d'un prix ensemble de 7 fr. 50 c. pour dix mois, et pour un	0 ,75	
Il abandonnait les 5 c. de poche pour l'amélioration de l'ordinaire, ainsi je n'en tiens pas compte.		
Total	8 ,25	8 ,25
Reste net		23 ,00
Ces 23 fr., divisés par 25, donnent pour prix moyen de journée		0 ,92
Si l'entrepreneur eût retenu sur ce prix l'excédant de dépense dont il vient d'être parlé		0 ,21
Il serait donc resté pour chaque travailleur		0 ,71 (2)

Ce résultat est meilleur que celui obtenu par M. Collignon, mais il

(1) Ce prix est en effet celui que j'ai donné à des manœuvres de choix travaillant en régie.

(2) Parmi les soldats travailleurs, il y avait un assez grand nombre de maçons gagnant 2 fr. 50 c. par jour; d'après les calculs précédents, on trouvera que leurs journées revenaient à 2 fr. 86 c. à l'entrepreneur, et qu'il leur restait de net 2 fr. 17 c., qui se seraient réduits à 1 fr. 81 c., si on en avait déduit l'excès de dépense pour leur casernement et autres causes indiquées ci-dessus.

Digitized by Google

aurait offert peu de moyens d'opérer des économies notables; c'est tout au plus si l'État, s'étant mis à la place de l'entrepreneur, eût pu gagner 0 fr. 31 par journée et par homme, car chaque soldat, pour travailler avec courage, doit être certain d'un bénéfice net qui ne peut s'élever à moins de 0 fr. 40 (1).

Ne serait-il pas possible d'obtenir mieux encore? Je ne puis m'empêcher de le croire; mais je pense qu'il faudrait pour cela modifier l'organisation de l'armée.

Je voudrais qu'on formât des compagnies d'ouvriers dans des régiments spéciaux (2).

Ainsi, un de ces régiments, par exemple, contiendrait une ou deux compagnies de maçons, tailleurs de pierre, sculpteurs, plâtriers, marbriers; une ou deux compagnies de forgerons, serruriers, charpentiers, menuisiers, charrons et mécaniciens; toutes les autres compagnies seraient composées d'hommes habitués aux travaux de la terre; on n'y admettrait même pas les ouvriers de cette espèce qui n'auraient pas atteint toute leur force, ou qui seraient d'une faible constitution.

Plusieurs de ces régiments seraient uniquement composés de travailleurs de terre (3).

On reléguerait dans des régiments séparés, tous les ouvriers anciennement occupés dans la plupart des manufactures, les orfévres, bijoutiers, chapeliers, tailleurs, etc., etc. (4).

Avant d'employer aux travaux ces soldats ainsi organisés, on les exercerait pendant six mois au maniement des armes.

Maintenant, je suppose qu'une grande construction réclamât l'emploi des ouvriers militaires:

On y enverrait un ou plusieurs des régiments dont je viens de parler,

(1) Il faut observer qu'un soldat aimera toujours mieux gagner 40 c. par jour et avoir une nourriture meilleure, en travaillant, que de faire l'exercice sans rien gagner, et en ayant une nourriture moins substantielle.

(2) On sait combien les compagnies d'ouvriers rendent de services à l'artillerie; les sapeurs et les mineurs sont réellement des régiments d'ouvriers, et cela ne les empêche pas d'être les meilleurs soldats de l'armée.

(3) Ce sont les villages qui fournissent le plus grand nombre d'hommes à l'armée; les travailleurs de terre y sont donc en majorité.

(4) On pourrait cependant réunir les tailleurs en compagnies et leur faire exécuter les uniformes des troupes; il serait possible d'appliquer également mon système aux cordonniers et à plusieurs autres états.

Digitized by Google

et ayant un nombre de soldats travailleurs égal à peu près au nombre d'ouvriers nécessaire.

La moitié seulement des soldats travaillerait, l'autre moitié ferait le service des casernes, et s'exercerait au maniement des armes; chaque moitié alternerait avec l'autre, au commencement de chaque semaine (1).

Il suit de cette disposition, que la moitié du personnel des chantiers serait formée d'ouvriers civils, mais, dans le cas où l'on ne pourrait pas compléter le nombre de ces derniers, la réserve militaire serait là pour fournir le supplément nécessaire.

Je suppose maintenant que le prix de la journée de manœuvre fût de 1 fr. 50 dans le pays où s'exécuterait le travail (2).

Les soldats travailleurs toucheraient 0 fr. 40 par chaque journée de travail, et abandonneraient les 0 fr. 05 de poche pour l'amélioration de l'ordinaire; sur les 1 fr. 10 restant, on prendrait les dépenses supplémentaires qui pourraient ne s'élever qu'à 0 fr. 27 à peu près, comme je le prouverai tout à l'heure; les autres 0 fr. 83 seraient partagés en deux portions : l'une, de 0 fr. 43, serait mise à la caisse d'épargne au nom et au profit de chaque soldat travailleur, et le capital et les intérêts lui seraient rendus quand il serait libéré du service; l'autre, de 0 fr. 40, serait le bénéfice de l'État.

Pour appliquer ce système à un exemple spécial, je supposerai qu'un bataillon de travailleurs organisé comme je viens de le dire, eût été employé à la Roche-Bernard.

L'indemnité mensuelle des cinq officiers eût été réduite, à raison de 15 fr. pour chacun d'eux, à (3).		75f,00c
Idem	pour deux sergents-majors, à 5 fr. par mois. . .	10 ,00
	A reporter.	85 ,00

(1) Je n'ai pas besoin de faire remarquer combien il serait facile de ralentir momentanément l'activité des chantiers, ou de l'augmenter, dans mon système, et cela d'un jour à l'autre, ce qui est impossible maintenant sans de grandes dépenses faites en pure perte.

(2) Ce prix peut être considéré comme le prix moyen des localités où s'exécutent les grands travaux; au reste, on remarquera qu'en appliquant mon raisonnement à la journée de manœuvre, c'est le cas le plus défavorable que je prends.

(3) Quoique cette indemnité et les autres ne soient pas très-fortes, il est évident qu'elles produiraient cependant une amélioration sensible dans la position des officiers et sous-officiers.

Tous n'en profiteraient pas, il est vrai, et surtout constamment, puisqu'ils ne seraient pas toujours employés aux travaux publics; mais de ce qu'un avantage, ou n'est pas grand, ou n'est que temporaire, il ne cesse pas pour cela d'être un avantage.

Digitized by Google

Report.	85f,00c
Idem pour six sergents à 6 fr. par mois.	36 ,00
Je supprime du compte que j'ai établi précédemment l'art. 5, vu que la cuisine se ferait comme maintenant, l'art. 10, vu que les frais extraordinaires de maladie sont supportés actuellement par l'État, et que l'emploi de l'armée aux travaux n'y ajouterait rien, et enfin l'art. 8 par la même raison.	
Il est évident que plusieurs autres articles peuvent être diminués, dans un grand nombre de localités, où il existe des casernes, par exemple; cependant je les porte ici dans leur intégralité, en observant toujours que je prends le cas le plus défavorable, reste à compter.	716 ,61
Total pour un mois de 25 jours de travail (1).	837 ,61
Qui, divisé par 5,750, nombre total des journées, fait.	0,145
Au corps, les soldats travailleurs n'auraient plus de garde à payer, mais il faudrait leur retenir pour chaussure et vêtements de travail, comme il a été dit plus haut (2), 3 fr. 25 c. par mois, ou par jour.	0,130
Total à prélever par jour	0,275

Le montant net de la journée, en la calculant au prix de 1 fr. 40, aurait donc été, pour les manœuvres, de 1 fr. 125.

Sur ce prix, j'aurais voulu qu'on accordât aux soldats travailleurs, pour en disposer à leur volonté.	0f,405
Qu'on plaçât pour eux à la caisse d'épargne	0 ,400
Et que l'État profitât de (3)	0 ,320
Total pareil.	1 ,125

En récapitulant, je crois qu'on peut affirmer qu'il résulterait du système que je propose les avantages suivants :

1° Les régiments de travailleurs, choisis parmi les soldats les plus robustes, seraient des régiments d'élite qui pourraient rendre les meilleurs services en temps de guerre ; les bataillons d'ouvriers de la marine, et la division des grenadiers du maréchal Oudinot, pendant la campagne

(1) Le nombre le plus ordinaire des journées de travail, dans un mois, est de 25 ; or 25 × 230 = 5750.

(2) En prenant sur le salaire des soldats la valeur des vêtements de travail et de la chaussure, les dépenses ordinaires qui grèvent leur masse diminuent.

(3) En ajoutant à ce bénéfice celui fait sur celles des maçons, on trouverait qu'il y aurait en un bénéfice net, pour l'État, de 25 à 30,000 fr. par campagne, ce qui fait presque 100 000 fr. sur l'ensemble des travaux du pont, c'est-à-dire du dixième de la dépense totale.

Digitized by Google

d'Austerlitz, prouvent l'avantage qu'on peut tirer de la réunion d'une masse d'hommes d'élite (1);

2° L'état pourrait exécuter à meilleur marché beaucoup de constructions importantes; il pourrait aussi se passer souvent du concours funeste des entrepreneurs; il ne verrait plus ces constructions souvent entravées par le manque d'ouvriers, et il serait à l'abri des effets de leurs coalitions;

3° S'il était menacé de la guerre, il pourrait, en consacrant les bénéfices obtenus sur la masse ordinaire des travaux, à l'entretien d'un plus grand nombre de régiments, augmenter, presque sans qu'on s'en aperçût, l'effectif de l'armée, de manière à la mettre mieux en état de défendre le territoire;

4° La position des officiers serait un peu améliorée, celle des sous-officiers le serait également; elle pourrait même l'être beaucoup pour les plus instruits d'entre ces derniers, qui pourraient être employés comme conducteurs et piqueurs; de cet avantage il en résulterait un autre, c'est que dans cette espérance, les sous-officiers étudieraient avec zèle le calcul, le dessin, l'art de niveler et de lever des plans, ce qui les mettrait en état de rendre d'excellents services en temps de guerre;

5° La nourriture des soldats serait meilleure, et leur travail plus varié leur donnerait plus de force et de santé;

6° Ils ne perdraient pas l'habitude du travail (2), et à leur sortie du service, quand ils reprendraient leur état primitif, ils ne se trouveraient plus dans un état d'infériorité, sous le rapport de l'habileté, avec ceux de leurs anciens camarades qui ne seraient pas tombés au sort.

7° En rentrant dans la vie civile, ils auraient à leur disposition un petit capital qui leur donnerait les moyens de s'établir, et je n'ai pas besoin

(1) Il est clair, dans tous les cas, que ces régiments exécuteraient bien et rapidement les travaux de fortification passagère.

(2) On objectera peut être que cet avantage n'existerait que pour le petit nombre des soldats possédant un métier qui les rende propres à être employés aux travaux publics, car les terrassiers ne peuvent perdre leur habileté; mais ce genre d'objection, qu'on fait cependant souvent, me paraît dénué de raison; parce qu'on ne peut faire du bien à tout le monde, faut-il donc se condamner à ne faire du bien à personne? ce serait une étrange manière de comprendre l'égalité devant la loi!

D'ailleurs, d'après ce que j'ai dit plus haut, on pourrait étendre considérablement mon système; et je ne vois pas comment il ne serait pas possible d'employer les soldats tailleurs, cordonniers, ébénistes, doreurs, lisserands, etc.

Digitized by Google

de développer ici les avantages qu'un pareil état de choses procurerait à ces soldats et à la société en général (1).

8° Enfin, il est probable qu'un assez grand nombre de soldats, plus satisfaits que maintenant de la vie militaire, ayant à leur disposition une somme journalière assez forte pour satisfaire à leurs plaisirs, voyant chaque jour s'augmenter de plus en plus leur petit capital placé à la caisse d'épargne, se détermineraient à renouveler leurs engagements, de sorte que l'armée posséderait une plus grande quantité de soldats à chevrons, qui en font toute la force.

Et comme toute amélioration en entraîne presque toujours une autre, le grand nombre d'anciens soldats qui composerait les régiments, permettrait de dépenser moins de temps aux exercices militaires.

Je viens d'avance au-devant d'une objection que je n'aurais pas prévue, tant elle me paraît superficielle, mais que j'ai cependant entendu présenter comme sérieuse.

On a dit : la loi n'imposant aux jeunes soldats qu'un service purement militaire, vous n'avez pas le droit de leur prescrire un travail supplémentaire et d'aggraver ainsi leur position, en augmentant la somme des devoirs qu'ils ont à remplir envers l'État.

Sous le rapport légal, cette objection est bien faible ; quand la loi de recrutement, faite dans le plus grand intérêt public, aura parlé, il est évident que le gouvernement, non-seulement pourra, mais encore devra l'exécuter, et personne n'aura à s'en plaindre.

Sous celui de la justice, il me semble qu'elle l'est encore davantage, car s'il doit résulter pour les jeunes soldats eux-mêmes quelque bien de l'organisation que je propose, il est clair que la loi nouvelle a le droit de la consacrer sans être injuste.

Et il faut remarquer que ce n'est pas par les devoirs qu'elle prescrit, que la loi de recrutement est dure, mais par les sacrifices des plus belles années de leur vie, qu'elle exige des citoyens qu'elle atteint !

Qu'importe, en effet, à ces citoyens que le temps perdu par eux soit

(1) Personne n'ignore que c'est souvent le défaut d'espérance d'acquérir de l'aisance, qui porte le découragement parmi tant d'ouvriers, et ce sont presque toujours les premiers cents francs qu'il est plus difficile d'épargner.

Les hommes qui possèdent déjà quelque chose sont ceux qui travaillent davantage pour augmenter leur petite fortune ; ils n'auraient peut-être pas eu assez de courage pour la commencer.

Digitized by Google

employé à faire rouler une brouette ou un caisson, à manier une pioche ou un fusil ?

C'est la loi actuelle qui est dure. J'ajouterai qu'elle est barbare; car après avoir arraché un jeune ouvrier à sa famille, à un âge où inexpert encore dans le métier qu'il a embrassé (1), il allait acquérir l'habileté nécessaire pour s'y distinguer ; à une époque de sa vie, où sous les yeux de ses maîtres et de ses parents, les habitudes d'ordre et d'économie, indispensables à son bonheur futur, allaient se développer en lui; elle le rejette ensuite, après six années d'oisiveté, et souvent, hélas ! orphelin, au sein de la société, sans argent, sans habileté dans son état, et souvent, ce qui est pire encore, sans goût pour le travail. Ah ! si sous l'empire d'une telle loi, il n'existe pas un plus grand nombre d'assassins et de voleurs, il faut avouer que cela fait l'éloge de notre caractère national.

Je l'ai déjà dit, je ne suis pas dans une position qui me permette d'examiner la question d'assez haut, je n'ai pas assez de connaissance d'administration militaire, ni surtout assez de présomption, pour croire qu'un système complet et parfait soit sorti de mon cerveau, comme Minerve de celui de Jupiter; mais à tort ou à raison, je pense que mes idées, très-hardies sans doute, ne sont pas tellement absurdes, qu'elles ne méritent pas d'être méditées par les personnes compétentes, et c'est le seul honneur que je revendique pour les avoir conçues.

(1) Je ne parle pas ici de celui dont le travail était utile à sa famille ; il est mort pour elle dans le système actuel ; dans le mien, il peut encore venir à son aide.

Digitized by Google

CHAPITRE XIV.

Indication de quelques conditions à introduire dans les devis. Conclusion.

Dans les grands projets, on ne saurait trop mettre de soin à la rédaction des devis et des sous-détails; j'ai eu souvent occasion de remarquer qu'il manquait beaucoup aux miens.

Cependant j'y avais indiqué jusqu'à la manière dont je devais cuber les pierres de taille et métrer les pierres à moulures; j'étais entré dans une foule de détails dans lesquels on n'entre pas ordinairement.

Les sous-détails devraient toujours contenir :

1° Des prix séparés pour la taille des parements des lits et des joints ;

2° La formule qui donne les prix des transports différents, dans le cas où l'on changerait de carrière ;

3° Un prix séparé pour fer, fil de fer, ou fonte bruts.

4° Un prix pour ces mêmes matières, en y comprenant toutes les mains-d'œuvre et même la peinture à trois couches, dont une de minium, les métrés de ces peintures étant toujours longs et difficiles.

Le devis devrait indiquer d'avance :

1° Toutes les méthodes de métrage ;

Digitized by Google

2° Toutes les manières dont chaque main-d'œuvre doit être exécutée ;

3° Divers droits des ingénieurs non-spécifiés dans les conditions générales, tels que ceux-ci, par exemple :

1° D'exiger que les pierres soient taillées en carrière ou sur place ;

2° De modifier à volonté les natures d'ouvrage dans telle ou telle partie de la construction ;

3° De changer les formes et dimensions des bois, fontes et fer ;

4° D'adopter les appareils qu'ils jugeraient convenables ;

5° De prescrire telle ou telle méthode de débarquement et de montage des matériaux, de construction d'échafauds, de fabrication de mortier, câbles en fils de fer, etc.

On devrait y introduire également :

1° La condition qu'il sera fait une retenue à l'entrepreneur, si dans un temps déterminé (1) il n'a pas achevé telle ou telle partie de la construction ;

Enfin, le droit formel pour l'administration d'exécuter en régie telle ou telle partie des travaux qu'il lui plaira.

Un devis parfaitement rédigé et contenant toutes ces clauses éviterait bien des embarras aux ingénieurs et à l'administration elle-même.

CONCLUSION.

Quelques travaux accessoires, tels que l'ouverture de contre-galeries pour assainir les puits d'amarre, et pour faciliter les moyens de changer le système de suspension, ne sont pas encore terminés, et ne peuvent l'être que dans un an ou quinze mois (2) ; malgré, cela on peut dire, je pense, que le pont de la Roche-Bernard est achevé, puisque ces travaux

(1) Je sais que cette condition a presque toujours été repoussée par le conseil des ponts et chaussées, sous le prétexte que l'ingénieur ayant le droit d'exiger que l'entrepreneur emploie un nombre déterminé d'ouvriers, est le maître de donner l'activité nécessaire aux travaux ; mais ce droit est assez souvent illusoire ; l'entrepreneur fait des demandes non sérieuses pour obtenir le nombre d'ouvriers que vous désirez, et comme vous ne pouvez lui prouver que c'est par sa faute qu'il n'a pas réussi, vous vous soumettez au retard apporté à la confection de telle ou telle partie des travaux en temps utile.

Si une retenue déterminée d'avance devait peser sur l'entrepreneur, il trouverait bien certainement le nombre d'ouvriers nécessaire.

(2) Quatre ouvriers seulement peuvent travailler sur chaque rive.

Digitized by Google

supplémentaires sont réellement étrangers à sa construction proprement dite, et qu'on pourrait s'en dispenser.

L'état de situation définitif des travaux accepté par l'entrepreneur élève le montant de la dépense exécutée par lui à.		992.908f ,66c
Les dépenses faites pour payer le personnel, pour les indemnités de terrain (1), pour des secours à des ouvriers blessés, pour frapper des médailles et pour recherches de carrière, épreuve du pont et des diverses natures de matériaux, études diverses, approvisionnements de toute espèce, pour entretenir le pont pendant quelques années, revêtement des puits d'amarre, retaillandage général des portiques et autres travaux exécutés en régie, s'élèvent, au 25 août 1840, à.		125.712 ,32
Total des dépenses faites.		1.118.620 ,98
On suppose que l'achèvement des travaux accessoires et d'entretien pendant encore un an, coûtera.		8.084 ,91
Total général.		1.126.705 ,89
Le crédit voté par les chambres s'élève à. . . .	995.000f ,00c	
Celui voté par le département du Morbihan à. .	176.705 ,89	
	1.171.705 ,89	1.171.705 ,89
Différence à restituer au trésor.		45.000 ,00

Cette notice contient-elle tous les détails qu'elle devrait contenir? Pouvait-elle en présenter d'assez intéressants pour mériter d'être publiée? N'en renferme-t-elle pas beaucoup d'autres qu'on ne devrait pas y rencontrer? Telles sont les questions que je me suis faites souvent avec quelque inquiétude, sans pouvoir cependant trouver de réponse, excepté à la troisième, en observant que la division par chapitres, que j'ai adoptée, facilitera au lecteur les moyens de sauter à pieds joints sur tous ceux qui lui paraîtront offrir trop peu d'intérêt.

Au surplus, M. le sous-secrétaire d'état des travaux publics m'avait ordonné de la rédiger. J'ai senti tout d'un coup, il est vrai, que la tâche de publier les détails d'une construction faite dans un système qui n'est plus neuf, en rendant cette publication assez intéressante pour la faire lire, présentait des difficultés au-dessus de mes forces; cependant, j'ai

(1) On a compris dans ces indemnités celles des routes.

Digitized by Google

dû promettre d'obéir avec zèle et avec abnégation complète d'amour-propre, mais je n'ai pu promettre de le faire d'une manière parfaitement satisfaisante; quant à moi, il ne me restera rien à désirer, si mes camarades apprécient, avec indulgence, les motifs qui m'ont déterminé à la leur offrir.

Digitized by Google

SUPPLÉMENT AU CHAPITRE XIII.

De l'emploi de l'armée aux travaux des fortifications de Paris

La publication de cette notice ayant éprouvé d'assez longs retards (1) par des causes dont il est inutile de parler ici, je crois devoir ajouter quelques mots à ce que j'ai dit sur l'emploi possible de l'armée aux grands travaux publics, et faire connaître comment j'entendais concilier son organisation actuelle, quelque défectueuse qu'elle soit sous ce point de vue, avec les principales dispositions du système que j'ai exposé au chapitre 13 de cette notice, dans les travaux des fortifications de Paris.

Chargé, au mois de septembre de l'année dernière, de diriger les travaux du fort d'Ivry et de la partie de l'enceinte continue comprise entre la route de Calais et celle d'Orléans en passant par Bercy, sachant d'avance que plusieurs régiments seraient employés à ces travaux, je mesurai de suite la grandeur de la tâche qui m'était imposée, et je dus beaucoup y réfléchir.

J'ai la conviction, je l'ai déjà dit, qu'en organisant l'armée par régiments de travailleurs, en réunissant dans les mêmes compagnies les ouvriers d'états analogues, on peut la transformer en un vaste atelier qui non-seulement produira beaucoup, mais qui produira à meilleur marché,

(1) Elle était rédigée au mois d'août de l'année dernière; elle devait paraître dans les premiers jours de celle-ci.

Digitized by Google

puisque la vie commune des soldats étant la source d'une grande économie, leurs journées peuvent être, sans perte pour eux, d'un prix moins élevé que celles des ouvriers civils (1).

Mais ce ne sont pas des régiments ainsi organisés que j'avais à employer, ce sont des régiments où dans les mêmes compagnies sont confondus les ouvriers des métiers les moins analogues. Or, j'ai également la conviction qu'un atelier composé de cette manière ne produit pas, il s'en faut, la moitié du travail qu'on obtiendrait des ouvriers civils; une pareille réunion d'hommes n'est plus qu'une véritable Babel, car le tailleur ou le peintre en bâtiment à qui le terrassier demanderait un pic à tranche, entendant prononcer ce nom pour la première fois, pourrait bien lui apporter une pelle ou une brouette.

Ne pouvant changer radicalement l'organisation régimentaire des travailleurs militaires qu'on m'aurait chargé d'employer, mon intention bien arrêtée était d'y apporter, s'il m'était possible, des modifications qui l'eussent rapprochée de celle qui m'avait déjà donné de bons résultats à la Roche-Bernard, et la haute intelligence de M. le comte Jaubert, alors ministre des travaux publics, me donnait l'espérance fondée que mes propositions seraient examinées avec attention, et probablement adoptées, si ce n'est entièrement, du moins en grande partie, et que j'atteindrais ainsi les moyens d'arriver à de grandes économies, ou, au pis aller, de me renfermer dans les crédits accordés (2).

(1) Ainsi se réaliserait le rêve de Fourrier; chaque régiment ou corps d'armée serait une phalange où les ouvriers, n'ayant qu'un même ménage, une même maison, faisant par conséquent d'immenses économies sur les frais qu'occasionnent des maisons séparées, des ménages isolés, travailleraient à bon marché, avec émulation et plaisir, débarrassés qu'ils seraient des soins qui attendent les ouvriers dans la vie civile, et ne redoutant pas comme eux les embarras du lendemain; la variété dans les occupations, que Fourrier recommande, se rencontrerait même ici, et les exercices et promenades militaires auxquels se livreraient les soldats pendant leurs semaines de repos (voyez chapitre XIII) les délasseraient de leurs travaux, auxquels, si je ne me trompe, je crois qu'ils reviendraient toujours avec d'autant plus de plaisir qu'ils y rencontreraient leur avantage personnel.

Ainsi se trouveraient mis en œuvre, dans le plus grand intérêt social, les deux puissants leviers au moyen desquels Fourrier voulait ébranler la société tout entière, l'amour du bien-être et l'émulation.

(2) On a beaucoup contesté le chiffre annoncé de 140 millions pour les travaux des fortifications de Paris; des littérateurs et même des ingénieurs, qui ont fait plus de brochures que de devis, ont nié l'exactitude de ceux dressés par les ingénieurs militaires et les ingénieurs des ponts et chaussées, et ont cité, à l'appui de leur opinion, les prévisions si énormément dépassées dans l'exécution de quelques routes, d'un grand nombre de ponts et de canaux, et surtout des chemins de fer; mais je demau-

Digitized by Google

Lorsqu'un régiment serait arrivé sur les travaux pour y être employé, j'aurais fait faire un recensement de tous les ouvriers de chaque espèce de métier dont il aurait été composé; parmi les hommes habitués à manier la pioche que j'y aurais rencontrés, j'aurais établi plusieurs classes, ou plutôt je les aurais invités à opérer eux-mêmes cette division, de manière que les plus habiles, les plus robustes et les plus actifs fussent

derai à tout homme de bonne foi s'il y a analogie entre ces travaux et ceux des fortifications de Paris.

Dans les canaux et les chemins de fer, on a des tranchées quelquefois de trente mètres de hauteur à ouvrir, et des souterrains à percer à travers des montagnes; est-il étonnant qu'on ne puisse apprécier d'avance et d'une manière certaine la nature de leur intérieur? De pareilles tranchées, de pareils souterrains, ne peuvent-ils pas donner lieu à des éboulements énormes? Ces éboulements ne forceront-ils pas l'ingénieur à exécuter des voûtes, des murs de soutènement dispendieux? Des sources abondantes, dont on ne prévoyait pas l'existence quand on a rédigé les devis, ne rendront-elles pas le sol assez mobile pour qu'on n'y puisse plus fonder d'ouvrages d'art sans d'incalculables augmentations de dépense? Ne faudra-t-il pas, par les mêmes raisons, doubler, quelquefois tripler les résistances des maçonneries qu'on exécutera? J'écrirais vingt pages sur les difficultés impossibles à prévoir que présentent de pareils travaux.

Dans les fortifications de Paris, au contraire, on n'a à creuser qu'un fossé de quatre à cinq mètres, qui n'est qu'une simple écorchure faite à la surface du sol, dans ses couches les moins dures et les plus homogènes; la disposition et même l'épaisseur de ces couches dans les environs de Paris ont été trop bien étudiées par les géologues pour qu'on puisse conserver le moindre doute sur la solidité des fondations du mur d'enceinte, qui n'est lui-même qu'un mur de soutènement ordinaire supportant un remblai d'une très-petite hauteur, plus facile à exécuter que ceux de la plupart des terrasses de nos jardins; et comme sa hauteur et son épaisseur ne peuvent varier pendant son exécution, le cube total des maçonneries restera constamment égal à celui qui a été calculé dans le devis.

C'est en vain que je cherche les causes qui pourraient produire des augmentations de dépense dans un pareil travail; je n'en puis trouver aucune, et les cinquante ingénieurs militaires, les douze ingénieurs des ponts et chaussées, choisis, plusieurs parmi les plus habiles, beaucoup d'autres parmi les plus expérimentés de leur corps, qui ont rédigé les devis, partagent ma confiance, j'en suis sûr.

Doit-on conclure de là qu'il est impossible que la dépense dépasse jamais 140 millions quoi qu'il arrive?

Je répondrai oui sans hésiter, *si les projets ne sont pas changés, si nos moyens projetés d'exécution sont suivis.*

Dans le cas contraire, il existe une cause possible d'augmentation dans les dépenses, que, pour l'honneur des rédacteurs du devis, je sens le besoin de signaler *d'avance.*

Si tous les travaux s'exécutent à l'entreprise ou par régie, au moyen des régiments organisés dans le système que je propose, j'affirme hautement qu'à moins d'un défaut complet de surveillance, qui n'est pas à redouter, les 140 millions prévus ne seront pas dépassés.

Mais si on emploie en régie des soldats, parmi lesquels on ne rencontrera peut-être qu'une moitié d'hommes habitués à tenir une pioche, si on ne leur assigne pas des tâches, si on ne sait pas exciter leur émulation, alors *ce ne sont plus* 140 *millions, mais* 290, *peut-être* 480 *millions que les chambres seront appelées à voter*; car, à quelque taux que l'on abaisse le prix des journées des travailleurs militaires, *il est certain qu'ils ne le gagneront pas;* il en est même un au-dessous duquel on ne peut

Digitized by Google

réunis dans la même classe; les maçons, tailleurs de pierre, charpentiers et forgerons, auraient été employés aux travaux de leur état. Quant aux tailleurs, cordonniers, ouvriers de manufactures, et tous les hommes qui depuis leur enfance n'ont touché ni une pioche, ni une brouette, ni un marteau, ils auraient fait le service des casernes (1).

Cette séparation en classes opérée, j'aurais divisé encore ces classes en

descendra sans porter le découragement le plus complet parmi les travailleurs, et sans faire décroître la masse des travaux exécutés dans une proportion plus rapide encore que le prix des journées.

Devenu étranger, comme les autres ingénieurs des ponts et chaussées, aux travaux des fortifications de Paris, j'avais besoin, dans l'intérêt de mon honneur et de celui de mes camarades, de faire d'*avance*, *je le répète*, cette protestation, afin qu'on n'eût pas le droit un jour de nous reprocher l'inexactitude de nos devis, dont le montant, au surplus, différait de bien peu de celui trouvé par les ingénieurs militaires.

Si l'on se livrait en outre à des dépenses de luxe, en changeant les projets primitifs; si l'on allait chercher au loin des matériaux d'un prix élevé, pour la partie des constructions qui n'exige que l'emploi de ceux qu'on trouve sur place; si, au lieu de s'arrêter aux garanties suffisantes de solidité, on cherchait à obtenir des garanties surabondantes, on pourrait encore dépasser le chiffre indiqué; mais l'habileté et le bon sens des officiers généraux qui sont appelés à diriger les travaux, les talents surtout et l'expérience du savant général qui en est le directeur supérieur, m'assurent qu'aucune dépense inutile ne sera faite; et s'il me reste quelque chose à désirer, c'est qu'ils veuillent bien jeter un coup d'œil sur l'organisation des militaires-travailleurs que je propose ici, et que je serais si heureux et si fier de leur voir approuver.

La partie de la dépense la plus difficile à estimer par les ingénieurs est celle qui est relative aux indemnités de terrains; mais j'ai encore la confiance que les ingénieurs militaires, pour les occupations définitives, sauront se mettre en relation avec les habitants les plus notables et les plus influents des communes des environs de Paris, comme les ingénieurs des ponts et chaussées l'avaient fait pour les occupations provisoires; car, sans leur concours, c'est en vain que les employés des domaines auraient demandé ces cessions provisoires de terrains. Partout où ils en ont obtenu, au moins dans ma section, je savais d'avance celles qui leur seraient accordées. Ce serait en vain encore que les experts offriraient aux propriétaires des prix raisonnables, si, par une foule d'égards et de bons procédés, les ingénieurs ne rassuraient pas ces derniers et ne leur promettaient, et ne leur accordaient en effet leur appui, pour aplanir les difficultés et abréger les délais que font naître trop souvent les formalités administratives.

(1) Non-seulement l'ouvrier inhabile travaille mal ou presque point, mais il empêche les autres de travailler. A deux bons ouvriers, donnez le concours de deux compagnons maladroits ou paresseux, ils ne feront plus la moitié du travail qu'ils auraient exécuté auparavant.

Les personnes qui n'ont vu des travaux qu'en se promenant, et qui n'en ont jamais dirigé, diront peut-être qu'il n'est pas difficile de manier une pioche et de rouler une brouette, et que tout homme, avec de la bonne volonté, peut facilement s'y accoutumer; sans doute, le métier de terrassier n'est pas un art et surtout un art difficile; mais, comme les choses même les plus faciles, il a besoin d'être appris. Il y a dans les manufactures d'étoffes des femmes qui n'ont d'autre emploi que de présenter des bouts de fils de coton à une mécanique; eh bien! il leur faut plusieurs années pour les habituer à la rapidité et à la régularité de mouvement nécessaires. Après une campagne passée sur les travaux, il serait possible (je n'en suis pourtant pas certain) que tous les soldats devinssent d'assez bons terrassiers, mais certainement leur apprentissage coûterait cher à l'État.

Digitized by Google

brigades commandées chacune, selon leur importance, par un sergent ou un sergent-major, intéressé lui-même à la rapide exécution des travaux, et à chacune de ces brigades j'aurais assigné des tâches; une fois le prix du mètre cube de déblais, par exemple, fixé, chaque brigade aurait appris ce qu'elle aurait gagné à la fin de la semaine par le toisé qui aurait été fait par les agents des ponts et chaussées; quand le résultat aurait été mauvais, malheur à l'ouvrier malhabile ou paresseux, ses compagnons auraient bientôt demandé son exclusion de la brigade, et il n'eût trouvé de refuge que parmi les maladroits ou les paresseux comme lui.

Dans tous les cas, on voit qu'une surveillance continuelle aurait été exercée de la part de chaque ouvrier sur ses camarades, et le chef de brigade n'aurait été là que pour maintenir le bon ordre.

Telle est l'organisation que j'avais dessein de proposer; si elle eût été adoptée, je n'aurais pas redouté les travaux en régie, et j'aurais plus espéré rendre plusieurs millions sur le crédit voté, que je n'aurais craint d'avoir recours aux crédits supplémentaires.

Je ne vois, au surplus, aucune raison qui s'oppose à l'adoption de cette organisation par régiment, ou, si l'on veut, par bataillon. Sans doute les travailleurs militaires passeront de l'inspection d'un officier ou d'un sous-officier sous celle d'un autre; sans doute les compagnies se trouveront mêlées sur l'atelier; mais il en était ainsi à la Roche-Bernard, et je n'ai pas entendu dire que les 7e et 20e régiments de ligne aient rien perdu de leur discipline. Qui empêcherait d'ailleurs qu'on ne formât des compagnies nouvelles, pour les travaux seulement? Un simple numéro placé sur les bonnets de police suffirait pour cela.

Je n'ai pas besoin de dire ici qu'on pourrait appliquer aux travailleurs militaires ainsi organisés mon système de placement d'une partie de leur solde à la caisse d'épargne; je renvoie pour cet objet au chapitre 13 de cette notice.

FIN

SBN
613229

PARIS. — IMPRIMERIE DE FAIN ET THUNOT,
IMPRIMEURS DE L'UNIVERSITÉ ROYALE DE FRANCE,
rue Racine, n° 28, près de l'Odéon.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google